

Oyun teorisi: Ders 11 Transkript

10 Ekim 2007

Profesör Ben Polak: Bugün yeni bir konuya gireceğiz, evrim hakkında konuşacağız. Evrim ile Oyun Teorisi arasındaki bağlantıdan konuşacağız. Şimdi, ekstra okumalar olacak -- size bununla ilgili olarak e-posta mesajı atmıştım -- isteyenler için bununla ilgili ekstra okumalar olacak. Ben şöyle yapacağım, isteyenler herkes için bir okuma paketi var. Hepinize bu okuma paketini sipariş edebileceğiniz web sitesini ve nereden temin edebileceğinizi e-posta ile gönderdim. Bu zorunlu değil. Bu okuma paketine bakmak zorunda değilsiniz. Bu sadece yardımcı olabilmesi için. Ek olarak, Çarşamba günkü gibi, buradaki materyalin bir kısmı yeni olduğundan, dersi takip eden bir bilgi notu hazırladım ve öğleden sonra bu not sihirli bir şekilde web sitesinde olacak. Yani eğer bugün işler hızlı giderse, endişe etmeyin bununla ilgili bir bilgi notu var.

Pekâlâ, neden Oyun Teorisi kapsamında evrime bakıyoruz? Gerçekte iki neden var. Birinci neden Oyun Teorisinin biyolojiye etkisi yüzünden. Öyle ki geçen birkaç on yılda biyolojide, özellikle hayvan davranışlarına bakan ve hayvan davranışlarını incelemek için Oyun Teorisi kullanan, muazzam miktarda çalışmalar oldu. Ve size bunun nasıl olduğuyla ilgili genel bir fikir vermek gerekirse, fikir şuydu stratejileri genlerle ilişkilendirmek veya en azından o genlerin bir fenotipi olarak ele almak ve getirileri de genetik sağlamlıkla ilişkilendirmek. Yani bu fikre göre stratejiler genlere bağlıdır ve oyundaki getiriler genetik sağlamlıkla ilgilidir. Ve tabii ki büyük fikir şu, eğer iyi performans gösterirlerse stratejiler yayılır. Yani bu oyunlarda iyi performans gösteren stratejiler yaygınlaşır. Daha kötü yapan stratejiler ise ölür gider. Bugün bunlara bakıyor olacağız.

En başından akılda tutulması gereken şu, şimdiye kadar sınıfta yaptığımız Oyun Teorisi ile biyoloji ve hayvan davranışlarında kullanılan Oyun Teorisi arasında önemli bir fark var. Ve bu da şu, davranışları, hayvanlar tarafından oynanan stratejileri mantık yürüten insanlar tarafından seçilmiş olarak değil programlanmış olarak düşüneceğiz. Yani eğer stratejiler yayılırsa bu bir aslan veya bir karınca o stratejiyi seçtiği için değildir. Bu basitçe şöyle, o stratejiyle ilgili olan gene sahip olan aslan veya karınca büyür ve bir sürü yavrusu olur. Yani bu önemli, bu stratejilerin programlanmış olduğu fikri bizim için yeni.

Yani bu haddi zatında ilgi çekici, ama diğer yandan gelen önemli bir etkisi var. Yani bunu çalışmamızın ikinci nedeni de şu, biyolojinin ve özellikle evrimsel biyolojinin geriye, sosyal bilimlere muazzam etkisi olmuştur.

Bu diğer yandan gelen etki evrimi daha çok bir metafor olarak kullanır. Ve eğer bir siyaset bilimciyseniz, eğer bir tarihçiyseniz, eğer bir antropologsanız, eğer bir

sosyologsanız bunu görürsünüz. Size ekonomiden bir örnek vereyim, bu bize daha yakın olduğu için. İşte örnek. Piyasada bazı firmalar hayal edin ve bu firmaları kendileri için en karlı olan veya maliyet düşürücü olan stratejilerin hangileri olduğunu bulmak için mantık yürütmediklerini düşünün. Bunun yerine, strateji seçmek için bazı pratik kuralları olabilir. Buna rağmen, rekabetçi bir piyasada, en güçlü firmaların ayakta kalması sonunda elimizde düşük maliyetli ve yüksek karlı firmalar kalır. Bu mantıklı geliyor mu? Yani burada piyasa rekabeti olduğu gibi ormandaki rekabetin yerini alır. Bir genin yok olmasının benzeşiği firmanın iflas etmesidir.

Bu tip fikirleri araştıracağız. Bu fikirler bugünün ve Pazartesi'nin geri planını oluşturacaklar. Şimdi, devam etmeden önce, birkaç tane önemli yan bilgi vereceğim. Ben iki şey değilim. Birincisi ben bir biyolog değilim. Ben eminim ki bu sınıfta bu konunun genetik tarafıyla ilgili benden çok daha fazla şey bilen biyologlar vardır. Yani burada ben size biyoloji öğretmeye çalışmayacağım, ben sadece Oyun Teorisi tarafına odaklanacağım. İkincisi ise ben bir Amerikan vatandaşı değilim. Evrim hakkında konuşurken birazcık endişeleniyorum çünkü burada bu konu ihtilaflı ve bazılarınız Kansa gibi yerlerden gelmiş olabilir. Ve eğer Kansas gibi bir yerden geldiyseniz, lütfen senatörünüze bunu yazmayın veya filmi görürlerse o zaman onlara dersi verenin başka bir İngiliz olduğunu söyleyin.

Yani gerçekte yapacağımız şu, evrimin oldukça basitleştirilmiş bir modeline bakacağız, en azından bugün. Pazartesi daha karışık bir modele geçebiliriz, ama bugün oldukça yapay olacak. İşte bu aşırı basitleştirilmiş modelimiz. Bu basitleştirilmiş model biyolojiye çok büyük tecavüzde bulunacak, ama bu sadece bazı fikirleri oturtmak için. Türler içi rekabet diyeceğimiz şeye odaklanacağız. Yani aslanlar aslanlarla rekabet ediyor ve karıncalar karıncalarla rekabet ediyor. Takip edeceğimiz düşünce yolu şu olacak simetrik iki oyunculu oyunlara bakacağız. Yani çok basit oyunlara bakacağız, bunlarda sadece iki oyuncu olacak ve bunlar simetrik oyunlar olacak, bu şu anlama geliyor iki oyuncu da aynı stratejilere sahiptir ve iki oyuncunun da getirileri aynıdır. Bunu şöyle düşüneceğiz, farz edeceğiz ki büyük bir popülasyon var ve her biri belirli bir strateji oynuyor ve bunun olduğunu varsayacağız, bu popülasyondan rastgele iki birey seçeceğiz ve onları eşleştireceğiz.

Yani bu büyük popülasyondaki herkes bir diğeriyle rastgele eşleştirilecek, programlanmış oldukları stratejileri oynayacaklar ve sonra ne olacağına bakacağız. Buradaki fikir şu, büyük bir popülasyon var, isterseniz hayvanlar olsun, belirli stratejileri oynamaya genetik olarak programlanmışlar ve rastsal eşleştirme var. Fikir şu bu rastsal eşleştirmelerden çokça yaparken ortalama getirileri takip edeceğiz. Yani bu oyunlarda rastgele eşleştirilmiş belirli stratejilerin ortalama getirilerine odaklanacağız. Yine altında yatan fikir şu, görel olarak başarılı stratejiler artacak ve görel olarak başarısız olanlar azalacak, bunu yazmayacağım, bunun öbür tarafı oldukça açık. Yani görel olarak başarılı stratejiler yaygınlaşıyor ve görel olarak başarısız olan stratejiler azalıyor.

Şimdi, işleri basit tutmak için, burada herhangi bir dinamik yapmayacağım bu bizi muhtemelen sizin, sınıftaki çoğunuzun yapabileceği matematiğin ötesine götürür. Yani burada dinamikler hakkında endişe etmeyeceğiz, ama bunun altında yatan dinamik şu. Bu fikre göre eğer bir strateji başarılıysa bu strateji popülasyonda yaygınlaşır, eğer bir strateji başarısızsa azalır. Yani bu henüz biyolojiye yapılmış bir tecavüz değil, bir sonraki kısım kötü tecavüz olacak. Bugün işleri kolay tutmak için genetik tekrar dağılım (genetic redistribution) olmadığını farz edeceğiz. Yani prensipte baktığımız şey aseksüel üreme ki açıkçası bu iyi bir model değil ama bugünlük işe yarar. Yani aseksüel üreme üzerine pratik bir örnek düşünün, kök sebzeler düşünün veya en iyisi flört oyunundaki deneylerimizden, bunun ekonomi öğrencileri için de doğru olduğunu umalım. Aseksüel üremeye odaklanarak belki paçamı Kansas'taki adamlardan kurtarabilirim: belki de yeşil kartımı kaybetmem bile.

Yani bu bizim temel öykümüz olacak ve kullanacağımız basit fikir şu. Bu 70'lerde yaşamış Maynard Smith adında bir adama dayanıyor, büyük fikir daha öncelerine de gitse. Büyük fikir şu. Diyelim ki belirli bir oyun olduğunu var saydık ve bu büyük popülasyonlar var -- kendinizi büyük bir popülasyon olarak düşünün—ve diyelim ki tüm popülasyon aynı stratejiyi oynuyor, buna S diyelim, yani hepsi aynı strateji S'yi oynamaya programlanmış. Diyelim ki şimdi bir mutasyon var, yani küçük bir grup başka bir strateji oynamaya başlıyor, hadi buna da S' diyelim. Sormak istediğimiz soru şu, bu küçük mutasyon grubu, S' stratejisi, çoğalacak mı yoksa ölüp gidecek mi? Eğer olası tüm mutasyonlar için, olası tüm S' oynayan bireyler mutasyonu olan küçük gruplar öleceklerse, o zaman orijinal strateji, S stratejisi evrimsel kararlıdır diyeceğiz. Bunu sonra daha resmi olarak yazacağız ama bu sadece temel fikir, hadi tekrar söyleyelim.

Herkesin oynadığı bir strateji var, buna S deriz. Bir mutasyona bakacağız, bu da S'. Yani küçük bir grup birey S' oynamaya başlayacak. Rastgele eşleştirilmeye devam edecekler ve S' grubu iyi gidiyor mu diye soracağız, eğer öyleyse büyüyecekler veya kötü gidiyorsa küçülecek ve sonunda yok olacaklar. Eğer yok olurlarsa S evrimsel kararlı diyeceğiz, bu tüm mutasyonlar için doğruysa. Fark ederseniz onları rastgele eşleştirirken not etmemiz gereken şey zaten başlangıçta çok küçük sayıda mutasyon olacağından, rastgele eşleştirildiklerine çoğunlukla hala S oynayan biriyle eşleşmiş olacaklar. Ara sıra diğer mutantlardan biriyle karşılaşacaklar, ama çoğu zaman endişelenmemiz gereken şey mutantların yükümlü popülasyona karşı nasıl performans gösterdikleri olacak.

Bu kafada canlandırmak için fazla soyut, o yüzden bir örnek yapmaya çalışalım. Hadi motivasyonumuzu bir kenara bırakalım ve gerçekten işe koyulalım. Hepinizin hatırlayacağı çok basit bir örnekle başlayacağız. Oyun şu, bu ikiye iki bir oyun ve getiriler şöyle (2, 2), (0, 3), (3, 0) ve (1, 1). Bu stratejilere işbirliği yapmak ve karşı olmak diyeceğiz: C işbirliği/kooperasyon (cooperation) için ve D kaçak olmak (defect) için. Hepinizin hemen hatırlayacağı gibi bu bir ne oyunu? Bu Tutukluların İkilemidir. Yani bu hayvanların Tutukluların İkilemini oynadıklarını hayal edeceğiz. Ve bu

bağlamda bunların bir grup aslan olduklarını hayal edin – ve bir saniyeliğine bunun aseksüel üreme gerçeğini bir kenara bırakın – bunların bir grup aslan olduğunu hayal edin. Ve işbirliği, avlanırken kooperasyon yapmak anlamında, bu çok fazla enerji harcamak demek – avlanırken grupla koordine olduğunuz için. Kaçak olmak ise ava fazla katkı vermemek ve diğer aslanların antilop veya her neyse o avı yakalamalarını beklemek ve sonra ganimeti paylaşmak: yani temel olarak beleşçilik yapmak.

Veya bir başka örnek, karınca yuvasındaki karıncaları düşünün, bu karınca yuvasının, ne olduğunu bilmediğim başka bir yaratık tarafından saldırıya uğradığını hayal edin. Bu durumda kooperasyonu yuvanın savunmasına katılmak ve kaçak olmayı kaçmak olarak hayal edebilirsiniz. Bu oyunda kabaca nasıl inceleme yapacağımızı biliyoruz. Şimdi bunun üzerinden gitmeyeceğim. Bugün farklı bir soru sormak istiyorum. Bu aseksüel üreme modelinde kooperasyon evrimsel kararlı mıdır diye sormak istiyorum. Bunu gösterebilmek için, bu oyunun gerçekten oynandığını düşünelim. Yani yapacağım şey şu, hepinizin şöyle olduğunuzu hayal ederek başlamak istiyorum, bilmem ki siz nesiniz, aslan mı, karınca mı, ne olmak istersiniz? Sanırım karınca. Siz bu yukarıdan karınca gibi görünüyorsunuz. Hepiniz karıncasınız ve hepiniz C stratejisini oynamaya genetik olarak programlanmışsınız. Hayat güzel devam ediyor ve burada rastgele bir eşleştirme yapalım, diyelim ki rastgele şu karıncayı, bir saniyeliğine ayağa kalkın, bu karınca rastsal olarak şu karınca ile eşleştiriliyor. Yani şimdi birbirlerine karşı bu Tutukluların ikilemini oynayacaklar, ama ikisi de kooperasyon yapmaya programlandıkları için, ikisi de kooperasyon yapacak, doğru mu? Yani bu karıncanın ismi neydi?

Öğrenci: Lenore.

Profesör Ben Polak: Karınca Lenore işbirliği yapıyor ve –

Öğrenci: Woo.

Profesör Ben Polak: Ve karınca Woo da işbirliği yapıyor. Yani ikisi de kooperasyon yaptığından dolayı, ikisinin getirilerinin ne olduğuna bakabiliriz, getirileri kooperasyon karşısında kooperasyon, yani 2 alırlar, yani bu bayağı iyi, yani genetik sağlık açısından oldukça iyi durumlar ve aniden iki karınca daha var, doğru mu? Yani bu karınca başka bir karınca üretiyor, bilgisayarı olmayan biri, ve bu karınca başka bir karınca üretiyor, yani iyi gidiyorlar ve tüm popülasyon işbirliği yapan karıncalarla eşleştiriliyor ve daha fazla karınca üretiliyor ve her şey güllük gülistanlık, her şey iyi görünüyor. Oturun bir saniye. Şimdi farz edin ki bir mutasyon var, küçük bir mutasyon var ve bu küçük mutasyonda bazı hıznır işbirliği yapmayan karıncalar var yani ürkütücü bir mutasyon. İşte ürkütücü mutasyonumuz. Hadi asistanları kullanalım. Yani asistanlar benim ürkütücü mutasyonlarım, buradaki tüm asistanlar ürkütücü mutasyonlar, bir tane de şurada var. Yani bir grup var. Diğer herkes kooperasyon oynuyor, çok sayıda işbirliği yapan karıncalar var, ama şimdi bu az sayıda karınca onlara işbirliği yapmayın, D oynayın diyen mutasyona uğramışlar.

Rastсал eşleştirmeyle ne oluyor bir görelim. Yani bu çok sayıda işbirlikçi karınca birbirleriyle eşleşiyor ve iyi durumda oluyorlar, ama esas nokta bu değil. Bize endişe veren şey mutantlara ne olacak? Hadi temsili hınzır karıncamızı seçelim, yani bu Rahul olacak, Rahul bizim ürkütücü mutandımız ve hadi geri gidip onu rastсал olarak yerli karıncalarımızdan biriyle eşleştirelim, bizim hoş, işbirlikçi karıncalarımızdan biriyle, hadi şunu seçelim. Yani bu işbirlikçi karıncayla rastgele eşleşmiş olsun ve bu işbirlikçi karıncanın adı nedir?

Öğrenci: Nick.

Profesör Ben Polak: Nick programlanmış, normal bir karınca olduğundan kooperasyon yapmaya programlanmış, yani işbirliği oynayacak. Kooperasyon diyelim, mikrofon getirmiş olmalıydım ama neyse, bu arada sizde hazır bir mikrofon var mı, teşekkürler. Tamam, yani o işbirliği diyor ama maalesef hınzır kaçak bir karınca ile eşleşti. Kendisi hınzır olduğundan değil, neye programlanmış olduğundan?

Öğrenci: Kooperasyon yapma.

Profesör Ben Polak: Kooperasyon yapma, kaçak ol. Peki şimdi ne olacak? İşbirlikçi karınca Nick talihsiz bir şekilde çok iyi olmayan bir karınca ile eşleşti, kendisi C oynarken Rahul D oynuyordu, yani Nick'in getirisi 0, yani 1 Nick'ten 0 Nick'e geldik, o yok oldu. Bu arada Rahul ne aldı? Rahul'un getirisi neydi? Rahul'un getirisi 3, yani birden bire sadece Rahul yok ama büyüyen bir mutasyon var. Şimdi eşleştirmeye devam ediyoruz, her periyotta bazılarınız diğer işbirlikçi karıncalarla eşleşecek ve iyi durumda olacaklar, ama arada sırada, aslında artan bir sıklıkta mutantlarımızdan biriyle eşleşeceksiniz ve bu mutantlar artacak, bu mutantlar artmaya devam edecek. Şimdi belli ki arada sırada bir mutant başka bir mutantla eşleşecek, doğru mu? Ama bundan endişe etmemeliyiz, tek endişe etmemiz gereken şey şu, en başlarda ölüp gidecekler mi? Başka bir mutantla karşılaşmaları oldukça seyrek olacak, en azından başlarda.

Yani eğer bu küçük mutasyon, işte bizim küçük mutasyonumuz yok olur ve daha büyük bir mutasyon haline gelmezse kooperasyon stratejisi evrimsel kararlıdır. Tabii ki bu durumda, az önce gördüğümüz üzere, mutasyon yok olmadı, aslında büyüdü. Yani resmi olmak gerekirse, dikkatli olayım, kooperasyon stratejisinin evrimsel kararlı olması için durum şöyle olmalı mutasyon ortalama olarak yok olmalı ve burada yok olmak yerine büyüdü. Şimdi bir sürü hınzır asistanımız var. Anladınız mı? Pekâlâ, hadi, teşekkürler. Hadi bunu biraz daha resmi olarak tahtada da yapalım. Temel fikir buydu ve bu fikrin grafiği, ama buna biraz daha resmi olarak bakalım. Yani temelde işbirliği yapan karıncalarımız var ve birkaç mutant kaçak karıncamız var, yani mutant kaçak karıncalar ve izlemek istediğimiz rastсал eşleştirmelerde onların ortalama getirileri.

Yani yerli karınca, kooperasyon yapan karıncalar, onlar oynuyorlar, onların getirileriyle ilgileniyoruz ve onlar karma bir popülasyona karşı oynuyorlar. Popülasyondaki hemen herkes kooperatif, yani diyelim ki karşılarında oynadıkları bireylerin $(1 - \epsilon)$ 'u da kooperasyon yapıyor (burada ϵ küçük bir rakam, çok küçük bir rakam), ama arada sırada, aynı talihsiz arkadaşımız Nick gibi, karşılarına hınzır bir mutant çıkacak, Rahul'la karşılaşacaklar. Peki ortalama olarak getirileri ne olacak, ortalama getirileri? Yani $(1 - \epsilon)$ ile, aslında bunu karma olarak düşünebiliriz, yani $(1 - \epsilon)$ ve ϵ . $(1 - \epsilon)$ ile başka bir işbirlikçi karıncayla karşılaşacaklar ve 2 alacaklar, ama ϵ ile Rahul'la karşılaşacaklar ve 0 alacaklar. Doğru mu? Yani bu onların ortalama getirisi. Şimdi peki ya mutantların getirisi? Mutantlar, etrafta onlardan çok fazla yok, ama onlar da hala bu karma popülasyona karşı oynuyorlar, $(1 - \epsilon)$ ile işbirlikçi karıncayla karşılaşacaklar ve ϵ ile iki mutant, iki asistan birbirine karşı oynayacak.

Hadi getirilerinin ne olduğuna bakalım. Getirileri şöyle, $(1 - \epsilon)$ ile 3 alırlar, bu Rahul Nick'le karşılaştığında gördüğümüz şey ve diğer ϵ ile Rahul Jake veya onun gibi biriyle karşılaşp 1 almaya razı olacak. Ama bunun izini sürersek ne görürüz? Bu şuna eşit $2(1 - \epsilon)$ ve bu da şuna eşit $3(1 - \epsilon) + \epsilon$. Doğru mu? Açık ki, açık olduğunu ümit ediyorum, mutandın getiriş daha büyük. Herkes bundan memnun mu? Mutandın getirisi daha yüksek be da şu demek mutasyon yok olmayacak. Aslında büyüyecek. Mutasyon ölmeyecek. Yani C'nin evrimsel kararlı olmadığı sonucunu çıkarabiliriz. Ben bundan sonra evrimsel kararlı için ES (evolutionarily stable teriminin baş harfleri) kullanmaya başlayacağım. Yani bu belirli oyunda kooperasyon ES değil. O zaman şunu sorabiliriz, bu oyunda ES nedir? Aslında bunu bulmak hiç de zor olmayacak, çünkü sadece tek bir seçenek var. Ben D'nin ES olduğunu iddia ediyorum ama hadi bunu kanıtlayalım.,

Yani durum şu olacak, bu mutantlar eninde sonunda popülasyonu ele geçirecekler ve herkes bir asistan gibi görünecek ve kooperasyon yapmayacak. Yani her an aseksüel üreme ile meşguller, gittikçe büyüyorlar ve en sonunda her şeyi ele geçirdikleri zaman bu durumda ES olmuyorlar mı? Yani bu oyunda kaçak olmak ES mi? Bunu bulmak için tam tersi bir deney yapmalıyız. Deney şu, popülasyondaki herkesin, hepinizin, sınıftaki tüm öğrencilerin hınzır kooperasyon yapmayan kaçak karıncalar olduğunu hayal edin. Yaşayıp gidiyorsunuz ve çoğunlukla, her zaman birbirinizle karşılaşıyorsunuz ve 1 getirisi alıyorsunuz. Ve şimdi bir mutasyon var, ama bu kez mutasyon daha önce Rahul'a gördüğümüz gibi ürkütücü kooperasyon yapmayan bir mutasyon değil, bu kez şuradaki Myrto olacak. Ve Myrto işbirliği yapan iyi bir mutasyon. Yani Myrto bizim iyi, işbirlikçi mutasyonumuz. Kamerayı zavallı küçük Myrto'ya doğrultalım. İşte zavallı küçük Myrto, sınıftaki kooperasyon yapan tek mutasyon o. El sallama, işte böyle, peki.

İşbirlikçi mutasyonumuza ne olacak? Çoğu zaman siz kooperasyon yapmayanlar birbirinizle eşleşiyorsunuz. Sizin getirinizin ne olduğunu hesaplayacağız. Yani kaçak yerliler, $(1 - \epsilon)$ 'u işbirliği yapmayan popülasyona karşı oynuyorlar ve ϵ ile Myrto ile karşılaşıyorlar. Ortalama getirileri nedir? Hadi dikkatli olalım, bunların yerlerini

değiştirelim ki ne olduğunu görebilelim. Burada çizelgemizdekilerin yerlerini değiştirelim, şimdi şu duruma bakıyoruz, $(1 - \epsilon)$ kooperasyon yapmayan ve ϵ kooperasyon yapan var. Yani sizler, siz kooperasyon yapmayan karıncalar çoğu zaman birbirinizle karşılaşıyorsunuz ve birbirinizle karşılaştığınızda 1 getirisi alıyorsunuz. $(1 - \epsilon)$ ile 1 getiriniz oluyor, ama ϵ ile çok iyi duruma geliyorsunuz çünkü Myrto ile karşılaşıyorsunuz ve maalesef Myrto'yu mahvediyorsunuz.

O ne durumda? O bir işbirlikçi ve $(1 - \epsilon)$ ile sizlerden biriyle karşılaşıyor ve ϵ ile Jake gibi bir başka iyi, işbirlikçi karınca ile karşılaşıyor. Getirisi şu $(1 - \epsilon)$ ile hiçbir şey alamıyor, ama ϵ ile hiç fena olmayan 2 alıyor, ama bu sadece ϵ ile. Doğru mu? Şimdiye kadar iyidir. Peki bu mutasyona ne olacak? Yerli popülasyonun ortalama getirisi $(1 - \epsilon) + 3\epsilon$ olacak ve Myrto'nun getirisi, mutant ise 2ϵ alacak. Yani bu hınzır karıncalar refah sürerken Myrto yok olur, yani tekrar oturabilir. Burada ne göstermiş olduk? Bu oyunda kaçak olmanın, kooperasyon yapmamanın evrimsel kararlı olduğunu göstermiş olduk. Herhangi bir mutasyon, burada olası tek bir mutasyon var, herhangi bir mutasyon yok olur. Bu iki farklı model üzerinde bir düşünün.

Birincisi, aslında farklı modeller değil ama farklı metaforlar, yani bu görelilik olarak iyi bireylerin olduğu popülasyonla başladık ve hınzır bir mutasyon oldu, şimdi Yaratık (Alien) filmini düşünün, aslında düşünmeyin çünkü korkunç bir film, ama öyle olsun bu korkunç filmi hatırlıyorsanız Yaratık veya Türler (Species), Türler filmini düşünün, daha da kötü bir film. Türler filmini düşünün. Bu Rahul'du ve aseksüel olsa da oldukça hızlı büyüdü. Bu çok korkunç bir film değil mi? Tam tersi onun hınzır bireylerinden oluşan popülasyonumuz varken ve küçük hoş bir mutasyon tarafından iyi bir istila olacakken, ET filmini düşünün, maalesef ET ezildi, bu iki aşırı uç. Peki bundan çıkarabileceğimiz ders nedir?

Yani burada bir ders var ve bu ders şu – Sanırım burada iki ders olacak ama biz birleştirelim. Buradaki birinci ders şu -- ilk olarak bunu tahtaya yazalım. Doğa, evrimin sonucu, doğa berbat olabilir. Yine daha resmi bir terim kullanabilirdik ama bu önemli bir ders. Bazı insanlarda şöyle düşünme eğilimi vardır, eğer evrim sonunda bir şey ortaya çıkarsa, eğer bir şey doğarsa, eğer bir şey doğadaysa, o ahlaki bir yönden iyi olmalıdır veya etkin olmalıdır gibi. Bu oyunda gördüğümüz şey ise şu doğanın ortaya çıkardığı berbat bir sonuç. Doğanın oldukça kötü olabileceğine inanmayanlar çünkü New York Times'ın bilim sayfasına baksınlar ve babunların bebek babunları nasıl öldürdükleri hakkındaki yazıyı okusunlar. Bebek babunlar arasındaki en büyük ölüm nedeni bebek cinayeti. Görünen o ki bu ES ve Times'da bunun neden olduğunu anlatıyorlar. Bu hiç hoş değil. Yani doğa çuvalleyebilir, doğa etkinlikten uzak olabilir.

Şimdi özellikle bu oyunda bir soru ortaya çıkıyor çünkü başladığımız örneklerle bir bakın. Şöyle düşünen aslanlarla başladık – veya düşünmeyen, pardon, düşünmüyorlardı – antilobun peşinden gitmeye programlanmışlardı ve kooperasyon yapmaya veya yapmamaya. Ve karıncalar hakkında konuştuk yuvayı korumaya programlanmış veya tam tersi. Çocukluğumuzda seyrettiğimiz sonsuz doğa

belgesellerinden biliyoruz ki aslanlar antilop avlarken gerçekten kooperasyon yaparlar ve karıncalar gerçekten yuvaları bir örümcek veya bir şey tarafından saldırıya uğradığında savunurlar. Doğru mu? Biraz baş sallama arıyorum, bu doğru mu? Evet tamam, güzel. Peki ne oldu? Bizim buradaki modelimizde yanlış olan ne? Burada, bu modelde, doğanın işbirlikçi olmayan davranışı üreteceğini ileri sürmüştük. Biliyoruz ki doğada kooperasyon örnekleri var, neler oluyor? Ne eksik kaldı? Buraya bir mikrofon alabilir miyim? Burada. Ben yapayım. Ben yaparım. Evet, peki ne oluyor?

Öğrenci: Farklı topluluklar birbirleriyle rekabet ediyor olabilir, yani bir toplulukta bu mutasyonların hiçbirisi olmazsa ve işbirlikçi kalırlarsa başarılı olabilirler, yani topluluklarda genelde bu kadar mutasyon olmaz.

Profesör Ben Polak: Tamam, bu ilginç bir fikir. Bunun bir kısmı çünkü biz türler içi rekabete bakıyoruz türler arası rekabete değil. Bu oldukça karmaşık bir fikir hâkline geldi ve büyük bir literatür oluştu bunun üzerine ve bu aslında biraz zor. Benim aradığım, bu güzel bir öneri, ben daha basit bir şey arıyordum aslında, buraya geri geleyim.

Öğrenci: Bu türlerin kaçakları yakalayıp cezalandıracak yolları var mı?

Profesör Ben Polak: Tamam, bu bir olasılık ve kesinlikle bu yönde kanıtlar var ama fazla değil. Yine, ona gelinceye kadar bayağı ileri primatlara bakıyoruz. Daha basit bir şey, hepinizin her zaman aklında olan bir şey eğer normal gençlerseniz.

Öğrenci: Hile yapanların oranı arttıkça getiriler değişiyor olabilir, yani eğer herkes hile yaparsa getiri olarak 3 elde edemezsiniz.

Profesör Ben Polak: Pekâlâ, ama tamam, doğru farklı bir beklenen getiri alırsınız, ama bu oyunun getiriş değil. Ben gerçekten çok basit bir şey arıyorum, tekrar edeyim, gençler olarak hepinizin aklında olduğunu tahmin ediyorum. Bakalım bu ipucu doğru cevabı getirecek mi? Evet.

Öğrenci: Cevap, aseksüel değil.

Profesör Ben Polak: Doğru, bunu öne çıkaran varsayım aseksüel üreme varsayımı. Gen alışverişi olan seksüel üreme fark yaratır. Neden? Burada biyolojiye çok fazla girmek istemiyorum, ama ana neden şu, önemli olan genin ayakta kalması, birey karıncanın veya birey aslanın ayakta kalması değil. Yani eğer seksüel üreme olsaydı yavrular arasında ve daha az seviyede kuzenler arasında genlerin tekrar dağılımı söz konusu olacaktı. Yani yuvadaki diğer karıncalar genetik olarak yeterince size yakın olduğu sürece ve aslanlar size yeterince yakın olduğu sürece, şöyle bir durum ortaya çıkabilir, öyle olur ki kooperasyon yaparsınız ve bu gerçekten de oyunun getirilerini değiştirir. Birey aslan veya karınca için getirileri değil, gen için getiriye değiştirir.

Şimdi eğer zamanımız olursa geri dönüp Pazartesi buna bakacağız ve eğer zamanımız kalmazsa bile, okuma paketinde size vermiş olduğum okumada, bunun biraz daha detayına giriyor. Bu çok daha karmaşık bir model ama alacağımız, yani çoğu zaman kooperasyon elde edeceğimiz model o, diğer insanların ortaya koyduklarının haricinde. Yani burada seks fark yaratabilir, ama biz aseksüel üremeye bağlı kalacağız çünkü şu an için ona bağlı kalıp analiz yapmak daha kolay. Ve öğrendik ki, burada öğrendiğimiz ikinci ders, ben bu dersten genelleme yapacağım, öğrendik ki tam olarak domine edilen bir strateji evrimsel kararlı değildir. Sadece bir örnek gösterdim ama örnekten alıp yaygınlaştıracamız.

Eğer bir strateji tam olarak domine ediliyorsa ve tabii ki burada kooperasyon tam olarak domine ediliyor, o zaman evrimsek kararlı değildir, en azından bu aseksüel üremenin olduğu basit oyunda. Bunu kanıtlamamış olsam da, fikir tam olarak bu örnektekiyle aynı, bu yüzden hadi üzerinde konuşmaya çalışalım. Diyelim ki bir strateji tam olarak domine ediliyor, nerden biliriz, onun evrimsel kararlı olmayacağını nasıl görebiliriz? Birileri? Benim tıp öncesi (pre-med) öğrencilerim neredeler? Hepsi saklanıyor şimdi. Biliyorum oralardasınız çünkü formlarınızı gördüm, ama boş verin. Neden bu domine edilen strateji evrimsel kararlı değil?

Öğrenci: Onu domine eden strateji başarılı bir mutasyon olur.

Profesör Ben Polak: Güzel, yani domine eden strateji, bu tam olarak domine edilen stratejiye baskın olan strateji başarılı bir mutasyon olurdu. Eğer girerse iyi duruma gelir, sadece bu stratejiye karşı değil ama kendisi ve bu strateji arasındaki her türlü karmaya karşı. Yani tam olarak domine eden strateji istila eder. Yani evrimde tam olarak domine edilen stratejiler hayatta kalamaz. Hadi başka bir örneğe bakalım ve biraz daha öğrenebilir miyiz görelim. Bu birazcık daha karmaşık bir örnek olacak. Bir üçe üç oyun alalım, işte üçe üç oyunumuz burada ve stratejileri sadece A, B, C olarak niteleyeceğiz ve A, B, C ve bir kez daha simetrik oyunlara odaklanacağız, yani bu oyun da simetrik olacak: 2, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, bir sürü sıfır var burada, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0. Yani bu simetrik bir oyun. Bu oyuna bir süre bakın, hepsine bakmak istemiyorum, şu soruyu sormak istiyorum C evrimsel kararlı mı?

Deneyimize geri dönelim. Neler vardı içinde? Sınıftaki herkesin C oynamaya programlandığını hayal edin, bu popülasyon bir mutasyon tarafından istilaya uğrayabilir mi? Ne düşünüyoruz? C evrimsel kararlı mı? Kim kararlı olduğunu düşünüyor? Kim kararlı olmadığını düşünüyor? Birçoğunuz kararlı olmadığını düşünüyor o zaman neden böyle olduğuna ilişkin bir fikriniz olmalı. Neden kararlı olmadığını düşünüyoruz? Biraz davetsiz almama izin verin. Birileri? Birini seçeyim. Eğer kararlı değilse o zaman istila edilecek demek, onu kim istila edecek? Buradaki beyefendiye deneyebilir miyiz, kimin istila edeceğini tahmin edin.

Öğrenci: B stratejisi.

Profesör Ben Polak: B stratejisi, tamam bu doğru. İsminiz?

Öğrenci: Greg.

Profesör Ben Polak: Greg buradaki B stratejisinin istila edeceğini söylüyor, hadi bir bakalım, bakalım ne olacak. Diyelim ki bir B istilası var, yani yine asistanlar B oynuyor, diğer herkes C oynuyor ve bakalım bu yerli genler nasıl yapıyor. Yani C popülasyonun C oynayan $(1 - \epsilon)$ ve B oynayan ϵ oranına karşı oynuyor ve ortalama getirisi nedir? Esasen $(1 - \epsilon)$ ile kendisiyle eşleşecek ve 0 alacak, ama ϵ ile B ile karşı karşıya gelecek ve getirisi 1 olacak. Herkes aynı kanıda mı? Yani $(1 - \epsilon)$ ile kendisiyle eşleşip hiçbir şey almıyor ve ϵ ile şans yüzüne gülüp bir asistanla karşılaşılıyor ve 1 alıyor.

Peki ya B istilacıları, sınıftaki asistanlar? Onlar $(1 - \epsilon)$ ile C'lerle ve ϵ ile B'lerle karşılaşacakları bu yüzden $(1 - \epsilon)$ ile B C ile karşılaşacak ve getirisi 1 olacak, yani $(1 - \epsilon)$ ile asistan sizlerden biriyle karşılaşacak. Ve ϵ ile asistan bir başka asistanla karşılaşacak, B'ye karşı B oynayacak ve 0 alacak. Yani bu ϵ olacak ve bu da $(1 - \epsilon)$ olacak. Ama fark ederseniz ϵ küçük, eğer bu mutasyondan sadece çok küçük sayıda varsa, $(1 - \epsilon)$ aslında ϵ 'dan büyüktür. Doğru mu? Yani bu şu demek, bu mutasyon yok olmayacak, muhtemelen devam edecek, aslında biraz daha fazla şey söyleyebiliriz, aslında muhtemelen aşağı yukarı popülasyonun yarısı oluncaya kadar büyümeye devam edecek. Ama, özellikle, ölüp gitmeyecek. Yok olmayacağından dolayı, mutasyon yok olmayacağı için, C'nin evrimsel kararlı olmadığını söyleyebiliriz. Herkes bununla hemfikir mi?

Şimdi bu fikir, bu örnek bir önceki örnekten biraz daha karmaşık, çünkü öyle oluyor ki istila eden mutant popülasyonu, B popülasyonunun kendisi evrimsel kararlı değil. Herkes bunu görüyor mu? C evrimsel kararlı değildi çünkü B tarafından istila edildi. B'yi kim istila edecek? B'yi de C istila edecek, buradaki her şeyin tam olarak simetrik olduğu ortaya çıktı. Yani B tarafından istila edildiği için C evrimsel kararlı değildir diye ileri sürmemize rağmen, bu başarılı mutasyonun kendisinin evrimsel kararlı olmasını gerektirmiyor. Bu belirli örnekte istilacı, yani B'nin kendisi evrimsel kararlı değil. Yine de, yok olmuyor ama C'ler popülasyonunu istila ediyor. Ama buradan çıkarmak istediğim ikinci bir gözlem var, burada bir parça tebeşir olduğunu ümit ediyorum, bulamıyorum, burada çıkarmak istediğim ikinci bir gözlem var, ne gözlemliyorsunuz?

C ve B hakkında başka ne doğru? Herkesin C oynaması ve herkesin B oynaması ile ilgili olarak ne doğrudur? Başka ne? Şimdiye kadar derste ne öğrendiğimize bakarsak, herkesin C oynamasıyla ilgili ne düşünüyoruz? Yani eğer herkes C oynuyor olsaydı şu (C, C) gibi bir objeye bakıyor olurduk ve şu soruyu sormak isteyebilirdik, (C, C) nedir? Bir Nash dengesi midir? (C, C) bir Nash dengesi midir? Burada evrimsel kararlı mı diye sormuştuk ve öyle olmadığını bulduk. Hadi farklı bir soru soralım ve bir süreliğine evrimi unutun. (C, C) bir Nash dengesi midir? Bu ara sınav için cevaplayabiliyor olmanız gereken bir soru bu yüzden birileri cevabı

söylesin. Bu Nash dengesi değil, Nash dengesi olmadığını nereden biliyoruz? Nash dengesi olmadığını göstermek için ne yapmamız gerekiyor? Karlı bir sapma olduğunu göstermemiz gerekiyor, değil mi? Peki nedir, bağırın, buradaki karlı sapma nedir? Karlı sapma B'dir. Buna hayır demeyin çünkü B tam olarak daha karlı bir sapma.

Bizim karınca yuvamız bağlamında ve bu sınıfın bir karınca yuvası olduğu bağlamında evrime bakarken, fark ettiyseniz tam olarak daha karlı sapma C'ler popülasyonunu istila edecek olan şeyle aynı şeydi. Doğru mu? Peki az önce ne öğrenmiş olduk? Bu fikir oldukça genel. Fikir şu, eğer bir strateji S, belki de bunu bir ders olarak almalıyım, eğer bir S stratejisi Nash değilse, bir başka deyişle (S, S) bir Nash dengesi değilse, o zaman S evrimsel kararlı değildir. Eğer S Nash değilse, o zaman S evrimsel kararlı değildir. Şimdi birazcık mantık yardımıyla, bunu ters çevirip şunu söyleyeceğiz, bunun aslında bize söylediği şu, eğer S evrimsel kararlıysa, o zaman (S, S) Nash dengesidir, aynı şeyi söylemenin bir başka yolu. Peki buradaki fikir nedir?

İkinci satır yerine ilk satıra bakalım, çünkü onu anlaması çok kolay. Buradaki fikir şu, eğer bir strateji Nash dengesi değilse, yani bu şu demek, eğer tam olarak daha karlı bir sapma olan bir strateji varsa bu S'in evrimsel kararlı olamayacağını söylemek için yeterli. Neden? Çünkü şu tam olarak daha karlı sapma olan stratejiyi ele alın, bu durumda B ve bu stratejiyi başladığımız stratejiyi istila edecek olan strateji olarak düşünün. Herkes takip ediyor mu? Tekrar söyleyelim. Diyelim ki bir strateji, diyelim ki (S, S) bir Nash dengesi değil. Bu şu anlama gelir, tam olarak daha karlı sapma olan bir başka strateji diyelim ki S' vardır. Şimdi bu tam daha karlı strateji S' ü mutant istilası olarak düşünün, yani şimdi Rahul oynuyor, S' oynamaya programlanmış. Tam olarak daha karlı olduğundan, bir sapma olarak tam anlamda daha karlı olduğundan, başarılı bir istilacı olacak. Yine bunu resmen kanıtlamış değilim, ama ispat da böyle sonuç verecekti.

Şimdi bir dakikalığına durup nerede olduğumuza bakalım. Gösterebildiğimiz şey suydur, baskınlık ve evrimsel kararlılık arasında bir bağ var. Dedik ki eğer bir strateji domine ediliyorsa evrimsel kararlı olamaz. Ayrıca Nash dengesi ve evrimsel kararlılık arasında da bir bağ kurmaya başlamıştık. Yani geçen altı hafta boyunca geliştirdiğimiz kavramlardan ikisi tamamen farklı bir bağlam olan hayvan davranışlarında tekrar karşımıza çıktı. Baskınlık kavramı ve Nash dengesi kavramı ve şimdiye kadar ne elde ettik? Dedik ki eğer bir şey evrimsel kararlıysa o aynı zamanda Nash olmak zorunda. Bu doğal olduğunu düşündüğüm bir başka soruyu ortaya çıkarıyor, tersi doğru mu? Eğer tersi doğru olsaydı gerçekten harika olurdu. Eğer bir stratejinin Nash olduğunda aynı zamanda ES olması gerektiğini gösterebilseydim keşke. Bu gerçekten müthiş olurdu, değil mi? Derste geliştirmeye çalıştığımız bu kavram anahtar bir kavram olur.

Maalesef hayat o kadar mükemmel değil. Neden öyle olmadığını görelim. Yapacağım şey şu, size bir örnek göstereceğim ve bu örneğimiz bize şunu gösterecek, evrimsel

kararlı olmayan Nash stratejileri bulabiliriz ve örnek de utandırıcı şekilde basit. İşte bir oyun, bu iki oyunculu iki stratejili bir oyun ve getiriler şöyledir (1,1), (0, 0), (0, 0), (0, 0). Bu bir nevi utanılacak kadar basit bir oyun. Bu oyundaki Nash dengeleri nelerdir? Hadi yavaş ilerleyelim. Eğer Satır oyuncusu A oynuyorsa, o zaman kolon oyuncusunun en iyi tepkisi A seçmek ve eğer Satır oyuncusu B oynarsa, o zaman kolon oyuncusunun en iyi tepkisi A veya B oynamaktır. Eğer kolon A oynarsa, satırın en iyi tepkisi A'dır. Eğer kolon B oynuyorsa, satırın en iyi tepkisi A veya B'dir. Yani bu egzersiz sizin için çok olağan şimdi. Nash'in nerede olduğuna bakarak bitirebiliriz, en iyi tepkilerin nerelerde çıktığına bakarak, Nash dengeleri (A, A) ve (B, B) olur.

Herkes mutlu mu? Evet bu çok kolaydı der gibi bakıyor olmanız lazım değil mi? Pekâlâ, ama hadi bu ikinci Nash dengesine bir bakalım. (B, B) Nash dengesine, şu aşağıda olana. B evrimsel kararlı mı? Tekrar bunu bir düşünelim, egzersiz sürecini bir düşünelim. Diyelim ki tüm sınıf B oynuyor. Şu ortadaki arkadaşı uyandırın ve onun da B oynadığını söyleyin. Tüm sınıf B oynuyor ve diyelim ki bir istila var. Bu istila ne olabilir? İstila olsa olsa A olur. Yerlilerin beklenen getirisi veya sınıftaki B oynayan herkesin ortalama getirisi ne olur? Buna fazla emek harcamadan, $(1 - \epsilon)$ ile başka bir öğrenciyle karşılaşsınız bu durumda getiriniz, sizin B'ye karşı B oynadığınız durumda sizin getiriniz 0 olur ve ϵ ile bir asistanla karşılaşsınız ve bu asistanlar A oynuyorlar, ama yine, siz 0 alırsınız, yani sizin ortalama getiriniz ne olur? Sıfır, getiriniz 0 olur.

Eğer bir yerliyseniz ve bu karmaya karşı karşıya olsanız getiriniz 0 olur. Ve eğer bir istilacı iseniz? Bu kez Rahul nasıl yapacak? Rahul A oynuyor. $(1 - \epsilon)$ ile bu A B'ye karşı oynayacak, yani $(1 - \epsilon)$ ile B'ye karşı oynuyor. $(1 - \epsilon)$ ile Rahul bir öğrenci ile karşılaşsınız ve 0 alıyor. Ama ϵ ile Rahul'un şansı yaver gidiyor ve Rahul bir başka asistanla karşılaşsınız. Rahul Jake'le karşılaşsınız ve Jake'le karşılaştığınızda getirisi 1 oluyor. Doğru mu? Yani ortalama getirisi ϵ ve bu sıfırdan büyük, yani gerçekten, Rahul'un geninin artacağı bir durum ortaya çıkıyor, B'ler azalacak. (B, B) Nash'di ama evrimsel kararlı değil, istila edilebilir. Herkes bunu görüyor mu? Herkes bu istilanın nasıl çalıştığını görüyor mu? Yani bu istilanın anahtarı Rahul'un başka bir öğrenciyle karşılaştığınızda, bir öğrencinin öğrenci karşısında olduğundan daha iyi durumda olmuyor. Ama o nadir anlardan birinde Rahul bir başka asistan ile karşılaştığınızda samanlık seyran oluyor – veya samanlık değil, çünkü aseksüel üreme var – getirisi 1 oluyor. Bu nadir anlar Rahul'un büyüye refaha ulaşmasına yeterli oluyor, bu arada B'ler göreceli olarak söylemek gerekirse küçüldüler. Herkes mutlu mu?

Tamam, burada Nash olup evrimsel kararlı olmayan bir şeye örnek var elimizde. Bu örneğin hangi tarafının özel olduğunu söyleyebilecek olan var mı? Bu örneği nasıl ayarladım? Bu örnekle ilgili bıçak sırtında bir ayarlama var. Bu örnekte ayarlanmış olan ne? Birileri? Davetsiz almak istemiyorum burada. Alan yok, herkes bir nevi sınav öncesi korku modunda. Bu arkadaş kurtarıcı oluyor, bu arkadaş bugün sınıfı kurtarıyor. Bir başkası yaklaşmalı oraya. İsmi neydi tekrar, isminizi unuttum?

Öğrenci: Steven.

Profesör Ben Polak: Steven. Yani Steven geri kalanınızı kurtarıyor, ama devam et Steven.

Öğrenci: B bir şeylere karşı sadece zayıf bir en iyi tepki.

Profesör Ben Polak: Güzel, yani bu örnekle ilgili olan gerçek şu B B'ye karşı en iyi tepki olsa da sadece zayıf olarak öyle. Doğru mu? Sadece zayıf olarak öyle. Eğer aslında sadece zayıf en iyi tepki olan Nash dengelerinden kurtulsaydık, o zaman bu oyundaki bu sonucu elde edemezdik. Yani özellikle, eğer Nash stratejinin tam olarak en iyi tepki olduğu, başka herhangi bir saf stratejiden tam olarak daha iyi olduğu Nash dengelerine bakarsak, o durumların evrimsel kararlı olduğunu görürüz. Nash stratejisinin tam olarak en iyi tepki olduğu Nash dengelerine ne diyoruz hatırlayan var mı? Onlara Tam Nash (strict Nash) diyoruz, yani bu gerçekten doğru, eğer (S, S) bir tam Nash dengesi ise, yani S S'e karşı tam olarak en iyi tepki ise, o zaman S Nash dengesidir – pardon, S evrimsel kararlıdır.

Tamam, şu ana kadar oldukça, sadece yarı resmiydik. Henüz resmi bir tanım ortaya koymadım ve yavaş yavaş lafı getirmeye çalıştığım şey biyolojiden çıkmış bir fikir, evrimsel kararlılık ile ekonomi ve matematikten çıkmış bir fikir, yani Nash dengesi, arasındaki bağıntı. Şimdi yapmak istediğim şu, size bunların resmen nasıl bağıntılı olduğunu göstermek istiyorum. Dersin bu kısmı için ispat yapmayacağım çünkü ispat biraz uzun sürüyor, ama bu öğleden sonra elinize geçecek olan bilgi notuna bu ispatı koyacağım. Şimdilik sadece tartışacağım. İşte başlıyoruz, biraz tebeşir var. İlk olarak yapmak istediğim şey şu, evrimsel kararlılığın resmi bir tanımını yazmak istiyorum. Bu biyolojiden gelen bir tanım ve biraz da, göreceksiniz ki biraz ağız dolusu bir tanım. Yani biraz uykusu gelmiş olanlar, biraz uyanmanız gerekecek, çünkü bu biraz zor bir tanım olacak. Ama biyolojiden gelen tanım bu.

Bu resmi bir tanım. Biyolojiden geliyor ve özellikle bunu 1972'de yazan Maynard Smith adında bir adamdan geliyor. Yani gayet açık ki daha evvelki fikir Darwin'dendi, ama bu resmi tanım Maynard Smith'e ait. İşte resmi tanım. Simetrik iki oyunculu bir oyunda – yani şimdiye kadar bakmış olduğumuz her şey --, saf strateji S – buna $\hat{S}$ diyelim – buna bir isim verelim – evrimsel kararlıdır – ve yine bunun için ES kullanacağım, ama burada biraz entellik yapmamam izin verin. Saf stratejilerde diyeceğim: saf stratejilerde evrimsel kararlıdır – ve bunu ekliyorum çünkü Pazartesi günü geri geldiğimizde karma stratejileri ele alacağız. Yani bu saf stratejilerde evrimsel kararlıdır eğer ve burada biraz boşluk bırakacağım, çünkü sonraki iki satır için yere ihtiyacım olacak, burada küçük bir boşluk bırakalım.

İşte bizim ağız dolusu tanım, ihtiyacımız olan şu $\hat{S}$ karşısında $\hat{S}$ oynamanın getirisinin $(1 - \epsilon)$ 'u artı S' karşısında $\hat{S}$ oynamanın getirisinin ϵ 'u tam olarak büyüktür $\hat{S}$ karşısında S' oynamanın getirisinin $(1 - \epsilon)$ 'u artı S' ü kendisine karşı oynamanın

getirisinin ε 'u. Bu tüm olası S' sapmaları için geçerli olmalı, ama biz ayrıca, işte bu yüzden ekstra boşluğa ihtiyacımız vardı ve ε üst çizgiden daha küçük olan tüm mutasyon büyüklükleri ε için. Bu geri gidip daha dikkatlice bakma ihtiyacı duyduğum yer, bu ekstra satırda yazacağım, bir ε üst çizgi var. Bu yüzden ekstra satır bıraktım buraya. Yani bu oldukça entel gibi görünüyor. Üzerinde konuşalım. Bu ne diyor? Diyor ki eğer olası tüm mutasyonlara karşı, yani Rahul'un her türlü S' versiyonuna karşı, akabinde karma olan popülasyona karşı $\hat{S}$ nın getirisi, akabinde karma olan popülasyona karşı S' ün getirisinden büyükse $\hat{S}$ evrimsel kararlıdır.

Hadi neden böyle olduğuna bakalım. Yani bu soldaki $(1 - \varepsilon)$ 'u $\hat{S}$ ve ε 'u Rahul gibi olan popülasyona karşı $\hat{S}$ nın getirisidir, çünkü $(1 - \varepsilon)$ ile kendisi gibi bir şeyle ve ε ile bir asistanla karşılaşır. Tam tersi, sağ tarafta, mutasyonun getirisi var. Mutasyonun getirisi şöyle $(1 - \varepsilon)$ ile asistan bir öğrenciyle karşılaşır ve $\hat{S}$ ya karşı S' getirisini alır, ε ile asistan kendisiyle karşılaşır ve S' e karşı S' getirisi alır ve bu daha önce de olan eşitsizlik işareti diyor ki istilacı mutasyon daha kötü yapmalı ve yok olmalı. Yani bu tanımın çapraşık kısmı, birazcık şey – kafanızda yerleşmesi için zaman alan kısmı – bu mutasyonların büyüklüğüyle ilgili nitelemedir. Ve aslında tek söylediği, matematiğini yok sayın, tek söylediği bunun tüm küçük mutasyonlar için geçerli olması gerektiği. Bunu şöyle diyormuş gibi düşünebilirsiniz, bu tüm küçük mutasyonlar için geçerli olmalı.

Yani bu biyolojiden gelen tanım tam olarak, şimdiye dek hem sınıfı kullanarak hem de tahtayı kullanarak ortalama getirileri hesapladığımız ve birçok kez tekrarladığımız argümanı tam olarak takip ediyor. Bu çok çirkin bir tanım. Herkes bunun çirkin olduğuna hemfikir mi? Şimdi yapacağım şey şu, size tamamıyla farklı bir tanım daha vereceğim. Bu da oldukça çirkin olacak ama biraz daha az çirkin. Yani şunu Tanım 1 olarak düşünün ve bu biyolojiden geldi, şu 1972 makalesinden geldi. Sanırım Maynard Smith ve ortak yazarları ile Nature dergisindeydi. Bu öbür tanımı düşünün, bu ekonomiden geliyor. Yani Tanım 2, bir strateji $\hat{S}$ – aynı nitelendirme burada da olmalıydı, simetrik iki oyunculu bir oyunda – aynı şeyle başlıyoruz – bir strateji $\hat{S}$ saf stratejilerde ES'dir – yani daha önce elimizde olanla aynı—eğer iki şey. Birinci şey, hadi buna A diyelim, eğer $(\hat{S}, \hat{S})$ bir Nash dengesiye – açık ki simetrik – simetrik bir Nash dengesiye. Daha işimiz bitmedi. Ben oyunun simetrik Nash dengesi ile ne demek istediğimi yazayım, bu ne demek? Bu şu demek, yani $\hat{S}$ ya karşı $\hat{S}$ nın getirisi tüm S' ler için, en az $\hat{S}$ ya karşı S' ün getirisi kadar olmalı. Bu zaten birçok kez gördüğümüz standart şey, şunu diyor $\hat{S}$, $\hat{S}$ ya karşı en iyi tepkidir.

Tam olarak işimiz bitmedi. Ve B: başka neye ihtiyacımız var? Eğer yukarıya yazmış olduğum bu zayıf eşitsizlik aslında eşitlik ise, yani $\hat{S}$ nın kendine karşı getirisi S' ün $\hat{S}$ ya karşı getirine eşitse, o zaman S' e karşı $\hat{S}$ nın getirisi, S' ün kendine karşı getirinden büyük olmalıdır. Bu biraz fazla ağız dolusu, ama iddia ediyorum ki sonunda üzerinde düşünmek daha kolay olacak. Ne dediğine tekrar bakalım, şunu diyor $\hat{S}$ evrimsel kararlıdır eğer Nash dengesiye, temel olarak buradaki bu ve eğer sadece zayıf Nash dengesiye – bir eşitlik varsa – o zaman en azından mutandı

geçmeli. Bir mutantla karşılaştığında mutandı geçmeli. Bir dakika içinde size bunun neden doğru olduğuyla ilgili bir akıl yürütme yapacağım, ama ilk önce neden bunu bilmeniz gerektiğini söylemek istiyorum. Yani fazla fanatik olmadan size bunun neden heyecan verici bir sonuç olduğunu söylemek istiyorum. Neden sizi alışık olduğumuzdan daha fazla cebire sürüklüyorum?

Size bunun önemli bir sonuç olmasını gerektiren iki neden vereceğim. Birincisi şu, öyle ki oyunları analiz ederken Tanım 2'yi kontrol etmek oldukça kolay olacak. Öyle ki Tanım 2'yi kontrol etmek çok kolay olacak. Tanım 1'i kontrol etmek gerçekten yıpratıcı. Neden? Çünkü tüm bu ϵ 'ları filan takip etmek zor olacak, ama Tanım 2'nin Tanım 1 ile muadil olması – bunu söylemiş miydim? Asıl nokta bu. Tanım 2 ve Tanım 1'in muadil olduğu gerçeği – yani 1 ikinin eşdeğeri – bu tanımların eşdeğer olduğu gerçeği şu demek biz sadece ikinci tanımı kontrol etmek zorundayız ve bu kolay. Yani biyologlar eşek arıları veya karıncalar veya aslanlar veya şempanzeler üzerine deneyler düzenlerken, oyunda bunu kontrol edebildiklerinde işleri bitmiş olur ve bu çok kolay olur. Ve bunu Pazartesi göreceğiz. Bu bir bakıma etkili bir neden.

Şimdi size bununla ilgilenmeniz için dini bir neden vereceğim. Şöyle deneyeyim – ve çoğunlukla bunun öğrencilerin yaklaşık üçte birine cazip geldiğini buluyorum ve öğrencilerin kalan üçte ikisi bu noktada kafadan kontak olduğumu düşünüyor. Benim kafadan kontak olduğumu düşünebilirsiniz bu normal. Benim gibi entel olan üçte biriniz için sadece bunun cazibesini görmenizi istiyorum. Burada iki fikrimiz var. Bir fikir biyolojiden kaynaklanıyor. Bunun Maynard Smith'ten geldiğini söylüyorum ama aslında Darwin'e dayanıyor. Yani bu biyolojide bir on dokuzuncu yüzyıl fikri. 200 yıldır biyolojide en önemli fikir olabilir. Bu adil bir yargı mı? Evrimsel kararlılık nosyonu. Diğer fikir ekonomiden geliyor. Bu Nash dengesine bakmak ve tam Nash dengesi vesaire. Yukarıda biyoloji var, aşağıda ekonomi var. Bu yirminci yüzyılda 1950 lerde ekonomide ortaya çıkan bir fikir yani Darwin'den hemen hemen 80 yıl sonra. Bu ekonomide büyük bir fikir, bu biyolojide büyük bir fikir. Ben entel bir adam olduğum için bana cazip gelen şu bu iki fikrin hemen hemen aynı olmasının harikulade olduğunu düşünüyorum. Bu iki fikrin aşağı yukarı aynı olmasının çok güzel bir şey olduğunu düşünüyorum.

Ama şimdi bana bakıp kafayı yemiş diye düşünüyorsunuz. O yüzden biraz daha zorlayayım. Eskiye düşünün, erken zamanların büyük entelektüel tesadüflerini düşünün. On yedinci yüzyılı düşünün. On yedinci yüzyılda insanlar gezegenlerin rotasyonunu tayin eden mekanik kanunlarının en azından yaklaşık olarak bir saati tayin edenlerle aynı olduğunu bulmuşlardı. Newton Fizikinin temel kanunları aynıydı ve bunun harika bir şey olduğunu düşünmüşlerdi. Tamamen farklı entelektüel arayışlara sahipler ve bunların aynı olduğu ortaya çıktı. Bilimsel devrimde bunların aynı olduğu ortaya çıktı. O zamana kadar Tanrıya inanmayı seçen insanlar o noktada Tanrı için ne düşündüler? Semavi bir saat üreticisi olduğunu. Bu muhteşem bir andı.

Burada, bizim zamanımızda veya belki biraz öncesinde, aynı şeyi görüyoruz. Burada bilimdeki en önemli fikirlerden birinin ekonomideki en önemli fikirlerden biriyle uyuştüğunu görüyoruz. Bu bizi nereye götürüyor? Şimdi tahmin ederim, demek istediğim kötü haber şu sanırım bu birçok kişinin Tanrının varlığını sorgulamasına yol açabilir. [bu başımı belaya sokacak, bunu söylemedim] Ama en azından Tanrıya inanmaya devam ederseniz o zaman Tanrının bir iktisatçı olduğuna inanmanız gerekecek, bu çok iyi bir şey.

Bu benim küçük dini yorumumdu. Pekâlâ, şimdi kalan on dakikayı, size bu muhteşem şeyi anlatmıştım, sizi doğru olduğuna ikna etmeye çalışmaya ayıracağım ve yine webden okuyabileceğiniz bilgi notunda bir ispatı var. Size sadece neden doğru olduğuna yönelik bir fikir vereceğim. Tamam, işte başlıyoruz. Bunda sizi ikna etmek istediğim şey şu bu tanım, bu bir nevi Oyun Teorisi tanımı yukarıdakini ima eder. Yukarıdakini bugün birçok kez tartıştık, bu evrimsel kararlılık kavramına denk geliyor. Bunun hakkında pek çok kez konuştuk. Bu tip denklemleri birden fazla kez yazdık. Şimdi sizi şunun bunu ima ettiğine ikna etmek istiyorum. Sizi ikna etmek için ne yapmalıyım? Hayal edin, hadi ayarlayalım, sizin bunu görmenizi sağlamak bunsuz imkânsız – hayır, boş verin, kötü fikirdi. Ağır tahtalarla oynamanın utancı var burada. Pekâlâ, hadi bunu yukarı itmeye çalışalım. Eğer Yale için dekanınızdan yeni teknoloji istemeyi düşünürseniz, biraz daha hafif karatahtalar isteyebiliriz. Sadece ortalama güçsüz iktisatçının evrimsel kararlılığı için.

Şimdi yapacağım şu, hadi bir strateji $\hat{S}$ ayarlayalım ve diyelim ki $(\hat{S}, \hat{S})$ gerçekten Nash dengesi. Sizi ikna etmeye çalışacağım şey $\hat{S}$ nın evrimsel kararlı olacağı. İki olasılık olduğunu ileri sürüyorum, iki durum var. İki durumdan biri şu, tüm S' ler için, $\hat{S}$ ya karşı $\hat{S}$, S' e karşı $\hat{S}$ dan tam olarak daha iyidir. Biraz dikkatli olalım, bunun Nash olduğunu bildiğimiz için, zaten $\hat{S}$ nın kendine karşı başka herhangi bir sapmadan en azından zayıf olarak daha iyi olduğunu biliriz, Nash olması bu anlama gelir. Herkes hem fikir mi? Biliyoruz ki $\hat{S}$, $\hat{S}$ ya en iyi tepkidir, o yüzden her olası sapmadan zayıf olarak daha iyi olmalıdır. Hadi ilk durumu ele alalım, gerçekten tam olarak daha iyi olduğu durumu ve sınıf örneğimize geri dönelim ve diyelim ki – birinci tanıma geri gidelim sınıf metaforumuza dönerek. Yani siz arkadaşlar hepiniz karıncasınız ve diyelim ki sınıftaki her öğrenci $\hat{S}$ oynuyor. Hepsiniz $\hat{S}$ oynuyorsunuz ve diyelim ki bu durumda $\hat{S}$ ya karşı $\hat{S}$ getirisi aslında $\hat{S}$ ya karşı S' getirinden büyük ve farz edelim bir mutasyon gelişti, pardon Rahul yine başlıyoruz. Ve mutasyon geliştiğinde, işte Rahul bizim mutasyonumuz ve kendisi rastgele içinizden biriyle eşleşecek. Hadi Rahul'un getirisini şuradaki beyefendinin getirisi ile karşılaştıralım. Bir saniye ayağa kalkın. İsminiz?

Öğrenci: Pat.

Profesör Ben Polak: Pat, Pekâlâ. Yani Pat bizim tipik $\hat{S}$ yerli karıncamız, pek karıncaya benzemiyor ama olsun, hayal gücünüzü biraz zorlayın. Çoğu kez ne oluyor? Çoğu kez Pat geri kalanınızdan biriyle karşılaşıyor ve sizden biriyle

eşleştiğinde, $\hat{S}$ ya karşı $\hat{S}$ getirisini alıyor yani bu $U(\hat{S}, \hat{S})$, çoğu kez aldığı bu. Arada sırada bir mutantla karşılaşılıyor. Tamam, iyi, yani arada sırada biraz değişik bir getiri alıyor ama çoğu zaman aldığı getiri bu $U(\hat{S}, \hat{S})$. Peki ya Rahul? Rahul, arada sırada şansı yaver gidip başka bir asistanla karşılaşacak, ama çoğu kez, hemen hemen her seferinde aranızdan biriyle eşleşecek, örneğin Pat'le eşleşecek. Pat'le karşılaştığında getiri $U(\hat{S}, S')$ olur ve bu daha düşük. Doğru mu? Yani çoğu zaman Pat'in getirisi $U(\hat{S}, \hat{S})$ ve Rahul'un çoğu zaman getirisi $U(\hat{S}, S')$. Ama bizim varsayımımız $U(\hat{S}, S')$ ün daha düşük olduğu, yani Rahul yok olacak. Yani bu durumda Rahul ölüp gider çünkü çoğu zaman bir yerliyle oynayıp çok kötü yapar.

Herkes buna ikna oldu mu? Bu durumda, mutant ölür. Yani mutant ölür çünkü çok sık $\hat{S}$ ile karşılaşır. Mutant yerliyle sık karşılaşır ve yerliye karşı berbat yapar. Bu birinci durumdu, bu durum 1'di ve durum 2 şu, Rahul aslında yerlilere karşı gayet iyi kazanıyor olabilir, ama Rahul için talihsizlik, şu durum, pardon, ama bu durumda Tanım B'ye göre, Rahul diğer asistanlara karşı çok iyi kazanamaz. Bu ikinci durum, durum 1'de Rahul ne zaman sizden biriyle karşılaşsa eziliyordu, pardon Rahul burada çok eziliyorsun, ama Rahul sizden biriyle karşılaşırsa eziliyor ve işte bu durumda Rahul size karşı iyi kazanıyor, ama mutantlara karşı berbat kazanıyor, yani bu daha zor durum. Bu durumdan konuşalım. Tekrarlayalım, pardon Rahul yine ayağa kalkmalısın, bir kez daha siz hepiniz $\hat{S}$ oynuyorsunuz, Rahul'un S' oynadığı bir mutasyon var ve yine Pat'i ayağa kaldıralım. Pat içinizden biriyle karşılaştığında, hadi aranızdan birini seçelim, kimi seçeyim, pardon isminiz nedir?

Öğrenci: Christine.

Profesör Ben Polak: Christine. Yani Pat Christine ile karşılaştığında ki bu çok sık oluyor, iyi kazanıyor ve Rahul Christine ile karşılaştığında ki bu da çok sık oluyor, o da tam olarak aynı kazanıyor. Yani onları sadece Christine ile rastgele eşleşmelerinden karşılaştırırsanız, aralarında fark yok. Ama bunun yerine bazen, ϵ ile, nadiren, Rahul Jake ile karşılaşır, Jake yazıyor, Kaj'la karşılaşır, bir saniye ayağa kalk ve bu durumlarda ne olduğuna bakalım. Pat Kaj ile karşılaştığında oldukça iyi kazanır ve başına büyük bir talih kuşu konar, Rahul'un Kaj ile karşılaştığında aldığından çok daha büyük bir getiri alır, onlar birbirleriyle eşleşince berbat kazanırlar. Birbirlerine karşı berbat kazandıkları gerçeği onların yok olmasına neden olur. Hadi bunu konuşalım. Rahul'un yok olabileceği iki yol var. Biri şu Rahul yok olur çünkü size karşı getirisi çok kötüdür ve yok olacağı ikinci yol ise şu eğer size karşı en az sizin kendinize karşı aldığınız kadar kazanır, ama diğer asistanlarla karşılaştığında kazancı berbat olur. İki durumda da sizler evrimsel kararlısınız ve Rahul'un başı dertte.

Bu yeterince ikna edici bir argüman mıydı? Bilgi notunda muntazam bir ispat var ama bu başlangıç için yeterli. Yani bu durumda, mutant $\hat{S}$ ya karşı iyi ama S' e karşı sopayı yiyor. Yani yok olacak mutantlar yerlilere karşı kötü kazananlar veya kendilerine karşı kötü kazananlar olur. Her iki durumda da $\hat{S}$ evrimsel kararlıdır.

Şimdi, bir dahaki sefer bunu iki yönde daha ileri götürmek istiyorum. Daha karmaşık oyunlarda ES hakkında neler oluyor görmek istiyorum, örneğin kooperasyon oyunlarında ve evrimin kooperasyon oyunlarında çok iyi olmadığını göreceğiz. Ayrıca, zamanımız olursa seksüel üremeye bakacağız ki bu büyük olasılıkla tek ilgi duyduğunuz şey bu zaten. Pazartesi görüşürüz.

[transkript sonu]