

## Oyun teorisi: Ders 12 Transkript

15 Ekim 2007

**Profesör Ben Polak:** Pekâlâ, bugün yine evrim hakkında konuşmak istiyorum, ama bunu yapmadan önce, bugün biraz mutlu olmamak elde değil çünkü bu sabah uyandıgımda radyodan 3 oyun teorisyeninin Nobel ödülünü kazandığını duydum, bu çok hoş bir şey. Eric Maskin, Roger Myerson ve Leo Hurwicz üçü de Oyun Teorisinin kullanıldığı mekanizma tasarımı denen bir alanda çalışıyorlar – bu oyun tasarımı konusunda – toplumda bulunan veya bir firmada bulunan bilgiyi kullanıp insanlara teşvikler vererek yapabileceğinizin en iyisini yapmak, ne kadar iyi yapabileceğinizi bulup ona ulaşmaya çalışmakla ilgili. Yani Mekanizma Tasarımı veya Teşvik Tasarımı konusuna dersin ikinci yarısında değineceğiz ama tam olarak işlemeyeceğiz – bu şeye gider – bu dersin devamı olan 156 veya daha sonraki İhale seminerini alırsanız orada detaylı olarak görürsünüz ama bu iyi bir şey, harika bir şey.

Bu adamların üçü de Hurwicz, Maskin, Myerson – inanılmaz derecede zarif adamlar, inanılmaz entelektüeller, onlarla her şey hakkında konuşabilirsiniz. Aslında Maskin, benim öğretmenimdi o yüzden ben biraz taraflıyım, ama Myerson hakkında konuşayım biraz: yıllar önce Northwestern'de, o zaman Myerson oradaydı, iş mülakatına gittiğimde, entel olup yarım saat ekonomi hakkında konuşarak Roger Myerson'u etkilemeye hazır bir şekilde içeri girdim ve onun tek istediği – İngiliz olduğumu anladı ve tarihe olan merakımı öğrendi – ve benimle tek konuşmak istediği şey Oliver Cromwell'di. Yani Oliver Cromwell hakkında bir saate yakın konuştuk ve bittiğini düşündüm, işe kabul edilmeyeceğimi düşündüm. Aslında işe kabul edildim, yani o kadar da kötü değildi. Ben işi almadım ama kabul aldım.

Pekâlâ, hadi devam edelim. Hadi evrimsel oyun teorisine geri dönelim – bir şey daha söylemeliydim – iki hafta önce Eric Maskin Yale'e gelip bir konuşma yaptı, bunun hakkında konuştu, evrimsel oyun teorisi hakkında konuştu.

Pekâlâ, geçen dersin sonunda gördüğümüz tanım buydu. Biraz daha büyük yazmaya gayret ettim, sadece o tanımlardan ikincisini tekrarlıyor. Bu tanım şimdilik saf stratejilerde olan evrimsel kararlılık nosyonunu Nash dengesi ile bağdaştırıyor. Temel olarak şunu söylüyor, bir stratejinin saf stratejilerde evrimsel kararlı olup olmadığını kontrol etmek için ilk olarak  $(\hat{S}, \hat{S})$  nın simetrik Nash dengesi olduğunu kontrol edin. Ve eğer bu tam Nash dengesi ise işimiz biter. Ve eğer tam değilse, bu  $\hat{S}$  ya karşı  $\hat{S}$  ile eşit getiri veren en az bir strateji daha var demektir, o zaman bu mutasyona karşı  $\hat{S}$  nın nasıl kazancı olduğu ile mutasyonun kendine karşı elde ettiği kazancı karşılaştırın. Ve eğer  $\hat{S}$  mutasyona karşı mutasyonun kendine karşı kazandığından daha iyi kazanıyorsa o zaman tamamız. Bu tanımın iyi bir özelliği kontrol etmenin çok

kolay olması, hadi bunu görmek için bir örnek deneyelim ve tekrar vites yükseltip kendimize ne yaptığımızı hatırlatalım.

Bu örnekte – biraz saçma bir örnek ama yine de – oyun şöyle görünüyor. Ve diyelim ki bize şu soru soruldu, bu oyunda evrimsel kararlı olan nedir? Bu oyundaki simetrik Nash dengesini bulana ödül yok. Bağırın. Bu oyundaki simetrik Nash dengesi nedir? (A, A). Yani (A, A) bir simetrik Nash dengesidir. Kontrol etmesi kolay. Yani gerçekte evrimsel kararlı strateji olmaya aday bir tek A var. İkinci kontrol edeceğimiz şey şu: (A, A) tam Nash dengesi mi? Tam Nash dengesi ne demek? Şu demek eğer sapma yaparsanız tam olarak daha kötü kazancınız olur. (A, A) tam Nash mi? Tam Nash mi yoksa değil mi? Değil. Yani eğer B'ye sapsanız, hemen fark edersiniz ki  $U(A,A)$  eşittir  $U(B,A)$ . Doğru mu? Bu bir eşitlik, ikisi de 1 veriyor. Yani bu bir tam Nash dengesi değil yani üçüncü kuralımızı kontrol etmeliyiz. Nedir üçüncü kuralımız? Şunu kontrol etmek durumundayız, olası sapmaya karşı – burada B'ye karşı-- A nasıl kazanıyor, bu B'nin kendine karşı kazancına göre nasıldır?

Yani  $U(B,A)$ , B'ye karşı A'nın getiriş 1 ve B'nin kendine karşı getirisi 0: 1gerçekten de 0'dan büyük, yani tamamız ve A gerçekten evrimsel kararlıdır. Çok çok basit bir örnek bunu kontrol etmenin ne kadar kolay olduğunu göstermek için. Ben bugünün tamamını daha ilginç örnekler üzerinden giderek geçirmek istiyorum, böylece geçen sefer buna yaptığımız yatırımın getirisini alırız. Başlangıç için, öncelikle bu saçma örnekten kurtulalım. Evrimi sosyal bilimlere uygulandığı biçimiyle düşünmek istiyorum. Sosyal bilimlerde karşılaşılabileceğiniz konulardan birisi sosyal adetlerdir. Bazen sosyolojide veya siyaset biliminde kurumların evrimi veya sosyal adetlerin evrimi gibi şeyler okursunuz – belki antropolojide de—ve ben bununla ilgili basit e kaçan bir örneğe bakmak istiyorum, bunun nasıl çalıştığını görmek ve bir şeyler öğrenebilmek için. Üzerinde düşüneneğim abes örnek araba sürerken sol şeridi veya sağ şeridi kullanmak, yolun solunda veya sağında. Yani bu oldukça basit bir sosyal adet. Sanırım bunun sosyal bir adet olduğu konusunda hepimiz hem fikiriz ve bu küçük oyunun getirilerine bir bakalım.

İnsanları yolun solunda veya sağında araba kullanıyor olarak hayal edebilirsiniz ve eğer soldan kullanırsanız ve diğerleri sağdan gidiyorsa, sizin için çok iyi olmaz ve onlar için de olmaz; ve eğer siz sağdan giderseniz ve diğerleri soldan araba kullanıyorsa, sizin için çok iyi olmaz ve onlar için de olmaz. Eğer ikiniz de sağdan kullanırsanız, ikiniz için de iyi olur. Ama eğer ikiniz de soldan kullanırsanız ikiniz için daha da iyi olur, çünkü daha sofistike görünürsünüz. İşte bu bizim küçük oyunumuz. Bunun evrimsel bir oyun olabileceğini görebiliriz. Yani bunu şöyle ortaya çıkacak şekilde hayal edebilirsiniz – bir hükümetin gelip bir kanunla herkesin soldan araba kullanması gerektiğini veya herkesin sağdan araba kullanması gerektiğini söylediğini hayal edebilirsiniz, ama aynı zamanda yolların başlangıcında farklı toplumlarda dünyanın farklı kısımlarında, insanların bir şeyler yapmaya başladıklarını ve bir adet veya diğerinin yerleştiğini de hayal edebilirsiniz. Burada evrimsel kararlılığın nasıl bir rol üstleneceğini görebilirsiniz. Belki de üzerinde çalışıp ne olduğunu görmekte fayda

var. Buradaki potansiyel evrimsel kararlı şeyler nelerdir? Potansiyel evrimsel kararlı şeyler nelerdir? Mikrofonları harekete geçirelim. Bu koşullarda evrimsel kararlılıktan sorumlu olan nedir? Birileri?

**Öğrenci:** (Sol, Sol) ve (Sağ, Sağ) ikisi de aday.

**Profesör Ben Polak:** Güzel, yani çok açık adaylarımız (Sol, Sol) ve (Sağ, Sağ). Bunlar iki aday. Daha resmi olarak, sol bir aday ve sağ bir aday, ama (Sol, Sol) ve (Sağ, Sağ)'ın Nash dengesi olduğunu söylemekte haklısınız. Daha da fazlası, bunlar sadece Nash dengeleri değil ama nasıl Nash dengeleri? Tam Nash dengeleri. Tam olmalarından dolayı, ikisi de tam olduğundan, gerçekten sol evrimsel kararlı ve sağ da evrimsel kararlı. Hadi bunun mantığını konuşalım ve daha açık hale getirelim. Farz edin ki herkesin soldan araba kullandığı bir toplumdasınız, yani burası İngiltere ve diyelim ki bir mutasyon oluştu ve bu mutasyonu Amerikalı turist gibi düşünebilirsiniz. Bir Amerikalı turist İngiliz toplumunun içine atıldı, turist rehberini dikkatli okumamış, arabayı sağdan kullanmaya başlıyor ve bu turiste ne olur? Çok çabuk ölüp giderler. Tam tersi, dünyadan habersiz bir Britanyalıyı Amerika'ya atarsanız ve soldan kullanırsa, çok çabuk ezilip gider, yani herkesin soldan kullandığı veya herkesin sağdan kullandığı durumların neden mükemmel evrimsel kararlı sosyal adetler olduğu ortada.

Ama bu basitliğin yanında, burada yararlı bir ders var. Buradaki birinci ders şu, birden fazla evrimsel kararlı durum olabilir, birden fazla evrimsel kararlı sosyal adetler bulunabilir. Özellikle şuna şaşmamalıyız eğer bir evrimsel güç olduğunu, kararlı olmayan sosyal adetleri oluşturan bir nevi rastsal dinamikler söz konusu olduğunu düşünüyorsak dünyanın değişik bölgelerinde farklı sosyal adetler görmeye şaşmamalıyız. Gerçekten de bunu görüyoruz, dünyada İngiltere, Japonya ve Avustralya gibi yerlerde soldan araba kullanıldığını ve diğer bölgelerde Fransa ve Amerika gibi yerlerde sağdan araba kullanıldığını görüyoruz, yani birden fazla evrimsel kararlı adetler olabilir.

Burada bir başka ders daha var, bu aşağıdaki sosyal âdetin yerleşmiş olduğu bir toplum hayal edebilirsiniz. (Sağ, Sağ) sosyal âdetine ulaşılmış olduğunu hayal edebilirsiniz. Herkesin sağdan gittiği sosyal adet hakkında ne biliyoruz? Biliyoruz ki bu herkesin soldan gittiği sosyal adetten daha kötü, en azından benim versiyonumda. Neyi gözetiriz, neyi görebiliriz burada? Bunların etkin olmayabildiklerini görürüz. Bunlar aynı iyilikte olmayabilir. Bu yüzden şunu söylememek için kendimizi zor tutarız, Amerikan toplumunun araba kullanma alışkanlıkları, eğer evrimin alternatiflerini düşünürsek, kafasız tasarıma güzel bir örnek. Yani bunun hakkında daha gayri resmi düşünecek olursanız, antropoloji, siyaset bilimi veya sosyoloji derslerinizde, evrimsel kararlılık ile ne demek istediğimizi ve bunun etkin bir sonuca ulaşmamızı garantilemediğini aklınızın bir köşesinde tutmak isteyebilirsiniz. Rasyonel oyuncuların oynadığı koordinasyon oyunlarını düşünürseniz, aslında bir bakıma bunun gibi oyunlara bakarken tartışıklarımıza benzer olduklarını görebilirsiniz. Bunlar

temelde koordinasyon oyunları. Bu oldukça doğrudan bir örnektir. Onu yukarıda bırakmak için izin verin, şurada bir yerde başka bir tahta olmalı, işte oldu, hadi başka bir örneğe de bakalım, biraz daha ilginç.

Yani bugün, günün çoğunu örneklerle bakarak ve onlar hakkında konuşarak harcaacağım. İşte tasavvur edebileceğimiz başka bir örnek oyun ve yine ikiye iki bir oyun, çok hoş ve basit bir oyun ve getiriler de şöyle. Köşegenlerde (0, 0), (0, 0) var ve köşegenin dışında (2, 1) ve (1, 2) var. Bu esasında ne oyunu? Sınıfta zaten görmüş olduğumuz bir oyuna çok ama çok benziyor, kimse? Bu esasen Cinsiyetler Savaşı. Cinsiyetler Savaşı oyununu aldım, Flört oyunu, sadece üzerinde hafifçe oynama yapıp simetrik hale getirdim, yani bu Cinsiyetler Savaşı oyununun veya flört oyununun simetrik hali. Bu oyunu aynı zamanda etrafta arabayla dolaşmak bağlamında da düşünebilirsiniz. Yani bu oyunun bir versiyonunda şunu tahayyül edebilirsiniz, bazen bu oyuna Korkak Tavuk dediğini de duyarsınız. Arabalar için içindeyken korkak tavuk oyunu nedir? Birisi? Arabalar için içindeyken korkak tavuk oyunu nedir? İnsanların bunu bilmemesi muhtemelen güzel bir şey. Bunu hiç kimse bilmiyor mu? Tamam, Pekâlâ birileri biliyor. Mikrofonu ta arkaya alabilir miyim?

Evet, bağırın. Doğru, yani şunu hayal edebilirsiniz, bir yol üzerindeyiz ve belki de araba kullanmak ve sağdan gitmek için yeterince geniş değil. Karşılıklı duran iki araba var, birbirlerine doğru geliyorlar, ikisi de yolun ortasından gidiyor ve direksiyonu ilk kıran kaybeden oluyor. Eğer A'yı saldırgan strateji düz gitmek ve B'yi daha az saldırgan, daha insani strateji direksiyon kırmak olarak düşünürseniz – yani sizin için en iyisi diğeri direksiyon kırarken saldırgan olmak ve en azından böylece hayatta kalırlar. Tam tersi, daha insancılsanız ve onlar düz giderse, hayatta kalırsınız ama onlar kazanır ve bu kez maalesef eğer ikiniz de saldırgansanız hiçbir şey almazsınız ve bu oyunu yazış şeklimize göre, eğer ikiniz de insancılsanız hiçbir şey almazsınız. Burada biraz daha negatif alınacağını hayal edebilirsiniz. Yani bu oyun doğa için bayağı önemli görünüyor, sadece genç erkek davranışında değil ama hayvan davranışlarında da, çünkü saldırgan olmak ve saldırgan olmamaktan bahsediyoruz.

Bu oyunda evrimsel kararlı olan nedir? Başlangıç noktamızı hatırlayın neydi? Başlangıç noktamız simetrik Nash dengesi aramaktı. Bu oyunda simetrik Nash dengeleri var mı, eğer varsa nelerdir? Bazı saf strateji Nash dengeleri var, bu oyunda bazı Nash dengeleri var, örneğin, (A, B) bir Nash dengesi ve (B, A) bir Nash dengesi, ama maalesef simetrik değiller ve şu ana kadar hep simetrik oyunlara odaklanıyoruz. Bu rastsal eşleşme. Satırlarda asimetri yok – satır ve kolon oyuncularında, bilgi notunda- bilgi notu değil, sizin için hazırlamış olduğum okuma paketinde – oyunların asimetric versiyonlarına da bakıyorlar, ama biz şimdilik simetri arıyoruz. Yani ne (A, B) ne de (B, A) işimize yaramaz çünkü simetrik Nash dengesi değiller.

Aslında bu oyunda simetrik saf strateji Nash dengesi yok. Yani şöyle bir durum olamaz, eğer bu bir tür olsaydı, eğer bu gelen iki muhtemel stratejisi olan bir hayvan olsaydı, saldırgan veya pasif, bu belirli oyunda %100 saldırganlık bulacağınız bir

durum söz konusu olamaz -- %100 saldırgan genlerin olduğu – veya %100 pasif genlerin olduğu. Her iki durumda da, eğer %100 saldırgan genler olsaydı, o zaman çok çok kötü kazanıyor olurdu ve pasif genlerin istilası olurdu ve eğer %100 pasif genler olsaydı, o zaman da saldırgan genlerin istilası gerçekleşirdi. Bir saf ESS niz olmazdı, saf evrimsel kararlı genetik karışımınız olmazdı. Peki bu ne ima ediyor? Şunu söylüyor, karma stratejilere bakmaya başlamalıyız. Bu oyunda bir karma strateji, simetrik bir karma strateji Nash dengesi var ve bunun üzerinde çalışıp çözümlerimiz. Şimdi hepimiz biliyoruz – muhtemelen ev ödevlerimiz üzerinde bayağı emek harcamış olmalısınız – yani hepimiz bu oyunda karma strateji Nash dengesini nasıl bulacağımızı biliyorsunuz, karmayı öyle ayarlamalısınız ki diğer oyuncu iki stratejisi arasında kayıtsız kalsın.

Ama bu zaten daha önceden gördüğümüz bir oyun, bu esasen Cinsiyetler Savaşı, yani muhtemelen bir hafta önceden denge karmasının ne olduğunu hatırlıyorsunuzdur. Cinsiyetler Savaşında denge karmasının ne olduğunu hatırlayabilen var mı? Bu  $(2/3, 1/3)$ , öyle ki burada Nash dengesi  $(2/3, 1/3)$  oluyor. Eğer bir hafta önceki notlarınıza dönerseniz buna çok benzeyen bir şeyin Cinsiyetler Savaşının orijinal versiyonunda Nash dengesi olduğunu bulursunuz. Bir hafta önce şöyle olmalıydı  $(2/3, 1/3)$ ,  $(1/3, 2/3)$  çünkü bir şeyler simetrik değildi. Şimdi, bazı şeyleri simetrik hale getirdim ve iki oyuncu için de bu  $(2/3, 1/3)$  oldu. Bunu kontrol edebilirsiniz. Peki bu bize ne söylüyor? Bize şunu söylüyor, bu oyunda en azından genlerin  $2/3$ 'ünün saldırgan ve genlerin  $1/3$ 'ünün pasif olduğu bir denge var. Ama bu bir şey ifade ediyor mu? Ne anlama geliyor olabilir? Biyoloji açısından ne anlamı var? Şimdiye kadar hep evrimsel kararlı saf stratejilere baktık ve evrimsel kararlı saf stratejiler doğadaki monomorfik denem evrimsel kararlı durumlara denk geliyor.

Monomorfik tek şekil veya tek tip bulunması anlamına gelir, ama doğada durağan karma tiplerin bulunduğu durumlar da olabilir ve bunlara polimorfik denir. Muhtemelen arada tire yok, muhtemelen tek kelime. Yani bir monomorfik popülasyonunuz olabilir, şimdiye kadar odaklandıklarımız bunlardı, ama ayrıca karma popülasyona da sahip olabilirsiniz. Şimdi bunun karma bir popülasyon olması için tanımı bu8na göre değiştirmemiz gerekir. Biraz sonra buna geri gelip ne anlama geldiğini konuşacağız, ama önce bunun için uygun bir tanımımız olduğundan emin olalım. Yapacağım şey şu, bu tanımı aşağıya çekeceğim ve genelde eğitim verirken yapmamanız gereken bir şey yapacağım, tanımımı düzeltmek için silgi kullanacağım. Burada benim saf strateji tanımım var ve izin verirsiniz bunu polimorfik popülasyonlara izin veren bir hale getireceğim.

Bunu bir P yapacağım, şu saf yerine karma yazacağım ve  $\hat{S}$  gördüğünüz her yere P şapka koyacağım ve buraya da ve S' gördüğünüz her yere P' yazacağım. Bunu böyle yapmamın bir nedeni burada yeni bir şey olmadığını vurgulamak, sadece daha önceki tanımın aynısını yazıyorum, tek farkla popülasyonların karma olması fikrine izin veriyorum ve ayrıca, geçerken not edelim, aynı zamanda bir mutasyonun da karma olabilmesine izin veriyorum. Hepsini yakalayabildim mi? Yani elinizdeki tanımı

aldım ve her şeyi saftan karmaya çevirdim. Peki bizim örneğimizde (2/3, 1/3) bu tanımı sağlıyor mu? Dikkatle bakalım. (2/3, 1/3) bir Nash dengesi yani A kısmını sağladık, bu simetrik bir Nash dengesi, yani bu açıdan tamamız. Bu denge tam bir denge mi? Bu 2/3'ü saldırgan ve 1/3'ü pasif olan karma popülasyon, veya bu karma strateji tam bir denge mi? Buna karşı sapmalar nasıl kazanıyor? Birisi? Buyurun.

**Öğrenci:** Aynı kazanırlar.

**Profesör Ben Polak:** Aynı kazanırlar, teşekkürler. Yani bu tam Nash dengesi olamaz, çünkü eğer A'ya sapsa karmada olduğuyla aynı kazanacaktık veya B'ye sapsa karmada kazandığımız kadar alacaktık. Bunu söylemenin bir başka yolu şu, bu karmaya karşı bir A mutasyonu, karmanın kendine karşı kazandığına eşit kazanır ve bir B mutasyonu da aynı kazanır. Gerçekten de, dengeyi zaten başta böyle oluşturmuştuk. Sizi A ve B arasında kayıtsız bırakan bir P seçtik, yani karma strateji Nash dengesi karma olduğundan dolayı tam olamaz. Bir karma Nash dengesinde, gerçek bir karma Nash dengesinde tanım itibarıyla karmada yer alan stratejiler arasında kayıtsızsınız. Yani bunun evrimsel kararlı olduğunu gösterebilmek için kural B'yi görmemiz lazım, yani görmemiz gereken – kontrol etmemiz gereken—burada kendimize yer açalım – bu stratejinin getirisinin ne olduğunu kontrol etmeliyiz, buna P diyelim, P olası her sapmaya karşı ne yapıyor ve bunu bu sapmaların kendilerine karşı kazandıklarıyla karşılaştırmalıyız.

Bu karşılaştırmayı yapmamız gerekir – olası tüm diğer karmalara karşı bu karma ne kazanıyor buna karşın bu karmalar kendilerine karşı ne kazanıyor? Bunu yapmamız gerekiyor, maalesef, bunu tüm olası – ve şimdi çok dikkatli olmalıyız—olası tüm karma strateji mutasyonlarına P' lere karşı bunu kontrol etmeliyiz. Yani bu zamanımızı alacak, aslında yapmak mümkün. Eğer yeterince matematik yaparsanız, çok zor bir şey değil. Bunu size ispat etmek yerine, izin verirseniz size buluşsal (heuristic) bir argüman sunayım ve ispata girmeden sizi durumun gerçekten böyle olduğuna ikna etmeye çalışayım. Yani işte bu popülasyonumuz var, popülasyonun tam olarak 2/3'ü saldırgan ve 1/3'ü pasif. Farz edelim bir mutasyon oluştu, P', bu P'den daha saldırgan, bu görece olarak daha saldırgan bir mutasyon. Örneğin, bu mutasyon %100 saldırgan olabilir veya en azından çok fazla saldırgan olabilir, belki %90 saldırgan veya bunun gibi. Şimdi bu saldırgan mutasyonun yok olacağını tartışmak istiyorum ve bu kural hakkında düşünerek tartışmak istiyorum. Şunu kanıtlamak istiyorum, bu çok saldırgan mutasyonun yok olacak olmasının nedenin bu mutasyonun kendine karşı çok kötü kazanması olduğunu kanıtlamak istiyorum. Doğru mu?

Eğer çok saldırgan bir mutandınız varsa, çok saldırgan mutantlar kendilerine karşı çok çok kötü kazanırlar, 0 alırlar. Ve bu da ölüp gitmelerine neden olur. Peki ya öbür aşırı uç? Çok pasif olan bir sapma ne olur? Yani hoş bir mutasyon, çok pasif bir tip, örneğin, bu %100 B olabilir veya bilirsiniz %99 B veya %98 B olabilir, kazancı nasıl olur? Şöyle olur, yine bu oyunda, kendine karşı çok iyi kazanmaz ve ek olarak, orijinal



karma, bu çok pasif mutasyondan daha saldırgan olan P karması mutasyona karşı çok iyi kazanır. Yani buradaki karma, popülasyona yerleşmiş olan bu karma bu çok pasif mutasyonla karşılaştırıldığında görel olarak daha saldırgan, görel olarak daha saldırgan yerliler ortalama olarak mutasyona karşı çok çok iyi kazanırlar ve dolayısıyla bir kez daha, bu eşitlik sağlanır. Yani tamamen buluşsal olarak, ispata girmeden, daha saldırgan mutasyonlar kaybederler çünkü kendilerine karşı kötü kazanırlar ve daha pasif mutasyonlar da kötü kazanırlar çünkü kendilerinden daha saldırgan olan P'nin işini kolaylaştırırlar.

Yani bu bir ispat değildi ama buluşsal bir argümandı ve gerçekten de durum böyle çıkıyor. Yani bu belirli oyunda, doğada olduğunu hayal edebileceğiniz bir oyunda, içinde türlerde saldırganlık ve pasiflik bulunan bir oyunda, bu örnekte öyle oluyor ki tek denge 2/3 saldırgan ve 1/3 pasif içeren bir karma dengedir. Ve bu şu soruyu akla getiriyor: bu ne demek? Doğada bir karma olması ne demek? İki farklı anlama gelebilir. Genin kendisi randomize ediyor anlamına gelebilir. Belirli bir karınca, sincap, aslan veya örümcek tarafından oynanan stratejinin randomize etmek olduğu anlamına gelebilir, doğru, bu muhtemel. Ama başka bir şey anlamına da gelebilir ki bu muhtemelen daha önemli. Başka ne anlama gelebilir? Şu anlama gelebilir kararlı karmada, evrimsel kararlı popülasyonda, bu belirli örümcek için diyelim, şöyle olabilir kararlı bir şekilde bu oranlarda hayatta kalan aslında iki tip olduğu anlamına gelebilir. Geçen hafta karma stratejilerle ilgili söylediklerimize dönüp bir bakarsanız, şöyle demiştik karma stratejilerin olası yorumlarından biri insanların aslında gerçekten randomize ettikleri olmayabilir, ama toplumda farklı stratejilerin karması olabilir.

Yine doğada, buradaki imkânsız yorumlardan birisi, polimorfik popülasyon yorumu şudur, türlerin hepsinin aynı görünüşü aynı davranması yerine, şu olabilir bu türlerin içinde kararlı bir davranış ve/veya görünüş karması vardır. Şimdi sizi bu fikrin ilginç olduğuna ikna etmeye çalışayım. Yine, özürlerimle, ben bir biyolog değilim, bu hafta sonu webde size güzel örnekler bulabilmek için biraz vakit harcadım ve aslında gelmek istediğim örnek, webde bulamadığım için biraz gizli/şifreli (apocryphal) olabileceğini düşünmeye başladım, ama yine de size hikâyeyi anlatacağım. Tam olarak gizli/şifreli değil, belki de sadece benim versiyonum öyledir. Aklımda olan bu örnek şu, deniz filleri hakkında ve sanırım bu deniz filleri için geçerli olmasa bile bazı tip balıklar için kesinlikle geçerli, tek farkla deniz filleri daha iyi öykü malzemesi.

Bu deniz filleri hayal edin – ortaya çıktı ki erkek deniz filleri için iki olası çiftleşme stratejisi var. Bu arada, deniz filleri ne olduğunu hepiniz biliyor musunuz? Onlar kocaman – insanlar bana boş boş bakıyorlar. Hepinizin kafasında aşağı yukarı bir deniz fili imajı var mı? Hepiniz yeterince doğa belgeseli gördünüz değil mi? Evet, hayır, evet? Tamam, yani erkek deniz filleri için iki tane erkek çiftleşme stratejisi var. Bir başarılı çiftleşme stratejisi başa geçmek, baskın/dominant veya dominant erkek fil, erkek deniz fili olmak ve böylece erkeğin çiftleştiği bir dişi deniz fili haremine sahip olmak. Sınıftaki erkekler için söylüyorum hemen sevinmeyin, bunlar deniz filleri, sizler değilsiniz arkadaşlar. Yani bir olası başarılı strateji başarılı bir er deniz fili olmak ve

bir sürü potansiyel eşe sahip olmak, yani çokeşli/poligamist olmak. Tahminen bu güzel fikri hayata geçirmek için, bu stratejiyle iyi çalışabilecek bir şey çok iri olmak. Yani başarılı erkek deniz filini devasa bir hayvan olarak hayal edebilirsiniz. Yani bir bakıma Amerikan futbolunda bir savunmacı gibi görünür ve ortaya çıkan diğer büyük deniz filleriyle kavga edip onları uzaklaştırır.

Ama öyle olur ki, eğer araştırmamı doğru yaptıysam sanırım şöyle söylemekte haklıyım, bu kuzey deniz filleri için geçerli ama güney deniz filleri için geçerli değil, yani kuzey kutbu Antarktika değil, ama bir beni düzeltecek. Bunu bir kez webe koyduğumda bunun yanlış olduğuyla ilgili bir e-posta yağmuru alacağım. Ama boş verin. Yani bunun tam olarak evrimsel kararlı olmadığı ortaya çıkıyor. Neden bu evrimsel kararlı değil? Bu kocaman haremli olan erkek deniz filini başarılı olarak istila edecek alternatif erkek stratejisi nedir? Tahmin var mı? Bir deniz fili olarak, erkek deniz fili olarak başarılı kariyer yapmak isteyen var mı? Bir daha söyleyin.

**Öğrenci:** [duyulmuyor]

**Profesör Ben Polak:** Güzel, yani iyi, teşekkürler. Herkes duydu mu? Güzel, alternatif bir strateji de tıpkı bir dişi deniz fili gibi görünen bir erkek deniz fili olmak. Savunmacı (linebacker) gibi görünmektense açık tutucu (wide receiver) gibi görünüyorlar. Futbol takımından birilerini gücendiriyorum. Olayı anladınız, değil mi? Ne yapıyorlar? Bu büyük sayıdaki dişi deniz fillerinin arasına sokuluyorlar ve birkaçıyla çiftleşiyorlar. Yani dişi bir deniz filine benziyorlar ve haremdeki dişi deniz fillerinin arasında saklanabiliyorlar ve birkaçıyla çiftleşiyorlar ve bunda yeterince başarılı olduklarında dişiler için de onlarla çiftleşmeyi istemek evrimsel kararlı oluyor. Şimdi ben bunun tam olarak doğru olup olmadığını unuttum, ama bu kesinlikle – hafta sonu yeterince araştırma yaptığımdan en azından bazı türler için doğru olduğunu biliyorum ve bu hikâyenin en güzel tarafı en azından bazı biyologlar arkalarda oturan arkadaşımızın açıkladığı bu stratejiye hoş teknik bir isim koymuşlar ve bu stratejinin ismi SKD (SLF) ve filme kaydediliyor olduğumuzdan size S ve K nin ne olduğunu söyleyeceğim ama geri kalanı tahmin etmelisiniz. Bu sinsi, bu küçük ve bunun ne olduğunu tahmin edersiniz.

Yani bu aslında oldukça sık rastlanan bir olaymış. Birçok farklı türde gözlemlenmiş, muhtemelen size anlattığım kadar renkli değil. Yani sizi polimorfik popülasyonların ilginç olabileceğine ikna etmiş olarak, bir duruma geri dönelim, saldırganlık ve pasiflik olan daha saçma bir duruma, çünkü bu hayvan davranışlarında düşünebileceğiniz en önemli şey gibi duruyor. Şimdi başladığımız yere geri gidip daha zor bir örneğe bakalım. Bu örnekler zorlaştıkça daha ilginç hale geliyorlar. Bu yüzden biraz daha zorlamak istiyorum. Korkak tavuk oyunu, Cinsiyetler Savaşı oyunu, saldırganlık ve pasifliğin özellikle ilgi çekici versiyonu değil. Hadi saldırganlık ve pasifliğin daha genel bir versiyonuna bakalım ve biyologlar tarafından çok fazla ve iktisatçılar tarafından birazcık çalışılmış bir oyun olan Şahin- Güvercin oyununa göz atalım. Ve yine vurgulamak için, burada türler içi rekabete hakkında konuşuyoruz, yani şahinler



güvercinlere karşı demiyorum. Şahini saldırgan bir strateji ve güvercini güvercinimsi, pasif bir strateji olarak düşünmeyi kastediyorum.

İşte oyun bu ve şimdi önceki yaptığımızdan daha genel getirilere bakacağız. Bu şahin strateji, bu güvercin strateji – şahin ve güvercin – ve getiriler şöyle.  $V + C$  – pardon, yeniden başlayalım  $(V-C)/2$  ve  $(V-C)/2$  ve burada da  $V/2$  ve  $V/2$  var, burada  $V$  ve  $0$  ve burada da  $0$  ve  $V$ . Yani bu bir genelleştirme, daha önce görmüş olduğumuz oyunun daha ilginç bir versiyonu. Bunun hakkında biraz konuşalım. Buradaki fikir şu bu iki hayvan arasında gerçekleşebilecek potansiyel bir savaş var ve bu savaşın ödülü  $V$ . Yani  $V$  kazananın ganimeti ve  $V$ 'nin pozitif olduğunu varsayacağız. Ve maalesef, eğer hayvanlar kavga ederse – yani eğer şahin başka şahinle karşılaşır ve birbirleriyle kavgaya tutuşurlarsa – o zaman savaşmanın maliyeti var. Savaşmanın maliyetleri  $C$  ve yine bunların pozitif olduğunu varsayacağız. Yani bu kavga etmenin maliyetidir. Bu daha genel format bizim iki şey yapmamıza izin verecek. Buna bakıp neyin evrimsel kararlı olduğunu soracağız, şimdi karmalar dahil. Ve ayrıca şunu sormamıza da izin olacak, şunu da sorabileceğiz, ne olur, eğer ödülü değiştirirsek veya savaşmanın maliyetini değiştirirsek evrimsel kararlı karmaya ne olur?

Daha ilginç, daha zengin bir oyun gibi duruyor. Tamam, şunu sorarak başlayalım, evrimsel kararlı bir güvercin popülasyonu olabilir mi? Yani  $D$  (dove kelimesinin baş harfi) evrimsel kararlı bir strateji mi? Şimdi ESS terimini kullanmaya başlayacağım. Yani ESS evrimsel kararlı strateji demek.  $D$  bir ESS mi? Yani bu oyunda, güvercin popülasyonu elde edeceğimiz bir durum olabilir mi? Hayal etmesi hoş bir şey gibi görünüyor, ama doğada bu oyunda ortaya çıkar mı? İnsanlar ne düşünüyor? Bunu nasıl kontrol edebiliriz? İlk adım nedir? İlk adım şunu sormak,  $(D, D)$  bir Nash dengesi mi? Eğer evrimsel kararlı ise, özellikle,  $(D, D)$  bir Nash dengesi olmalı. Bunu kontrol etmek çok kolay olacak, yani  $(D, D)$  bu oyunda bir Nash dengesi mi? Değil, ama neden değil? Çünkü eğer bir mutasyon olsaydı, hep sapma demek geliyor içimden, ama bunu bir mutasyon olarak düşünmelisiniz. Eğer şahinlerden bir mutasyonum olsaydı, güvercinlere karşı şahin mutasyonu  $V$  alır, bunun yanında güvercine karşı güvercin  $V/2$  alır, yani Nash değil. Yani evrimsel kararlı bir güvercin popülasyonumuz olamaz ve bunun nedeni bir şahin mutasyonu oluşur, saldırgan bir tip oraya girer ve büyür, geçen hafta gördüğümüz gibi, Tutukluların İkiminde Rahul'u sınıfa saldırdığımızda o büyümüştü, yani onun gibiler çoğalmıştı.

İkinci soru: şahin evrimsel kararlı bir strateji mi? Bunu nasıl kontrol ederiz? Bir kez daha bakmamız gereken şey – ve sormamız gereken soru – bu sorulacak ilk soru şu:  $(H, H)$  bir Nash dengesi mi (hawk kelimesinin baş harfi)? Bu bir Nash dengesi mi? Ben bazı şeylere bağlı olduğunu öne sürüyorum. Şunu iddia ediyorum  $(V-C)/2$  en az  $0$  kadarsa bu Nash dengesidir. Doğru mu? Bu bir Nash dengesidir -- bu simetrik bir Nash dengesidir – eğer ki şahine karşı şahin, şahine karşı güvercinde daha iyi kazanırsa veya en azından aynı kazanırsa. Yani eğer  $(V-C)/2$  en az  $0$  ise cevap evet. Şimdi oldukça dikkatli düşünmeliyiz çünkü iki durum söz konusu. Kolay olan birinci durum,  $V$ 'nin tam olarak  $C$ 'den büyük olduğu zaman. Eğer  $V$   $C$ 'den tam olarak

büyükse o zaman  $(V-C)/2$  tan olarak pozitiftir, doğru mu? Bu durumda bu nasıl bir Nash dengesidir? Tamdır değil mi? Yani eğer  $V > C$ 'den büyükse o zaman  $(H, H)$  tam Nash dengesidir.

İkinci durum eğer  $V, C$ 'ye eşitse, o zaman  $(V-C)/2$  gerçekten sıfıra eşit olur bu da  $H$ 'ye karşı  $H$ 'nin getirisi ile şahine karşı güvercinin getirisinin aynı olduğunu söylemekle aynı şeydir. Doğru mu? Peki bu durumda neyi kontrol etmemiz gerekir? Onu silmişim, notlarınızdan gelmek zorunda, böyle bir eşitliğin söz konusu olduğu durumda neyi kontrol etmem gerekir? Neyi kontrol etmeliyim? Şunu kontrol etmeliyim – bu durumda güvercine karşı şahinin nasıl kazanç elde ettiğini kontrol etmeliyim, çünkü güvercin mutasyon olacak. Bunu güvercine karşı güvercinin getirisiyle karşılaştırmalıyım. Peki şahin güvercine karşı nasıl kazanıyor? Güvercine karşı şahinin getirisi nedir? Birisi? Güvercine karşı şahinin getirisi. Bu çok zor olmamalı. Tahtada duruyor: güvercine karşı şahin. Bağırın.  $V$  teşekkürler. Yani bu  $V$  peki ya güvercine karşı güvercinin getirisi nasıl?  $V/2$  yani hangisi büyüktür  $V$  mi  $V/2$  mi?  $V$  büyüktür çünkü pozitiftir, yani bu daha büyük ve biz tamamız. Ne göstermiş olduk? Şunu göstermiş olduk, hadi şuraya çizelim, şunu gösterdik, eğer  $V$  en az  $C$  kadar büyükse, o zaman  $H$  evrimsel kararlı stratejidir. Yani bu oyunda, doğadaki bu koşullarda eğer kavgayı kazanmanın ödülü kavga etmenin maliyetinden büyükse o zaman bu tür içinde evrimsel kararlı bir durumda tüm hayvanlar kavga edecektir.

Tekrar söyleyeyim, eğer doğadaki bu koşullarda kavgayı kazanmanın ödülü kavga etmenin maliyetinden büyükse veya en azından aynıysa, o zaman tüm hayvanların kavga etmesi evrimsel kararlı olur. Hayatta kelen tek gen saldırgan genler olur. Bu ne demek? Peki biz tipik olarak kavganın getirisi ve kavganın maliyetinin ne olduğunu düşünüyoruz? Sadece bunu biyoloji bağlamına sokmak için. Kavga ne için olabilir? Şu olabilir – hadi başladığımız yere geri dönelim – dişilerle çiftleşme hakkı için kavga eden erkekler olabilir. Bu genetik sağlık için oldukça önemli olabilir. Bu erkeklerle çiftleşme hakkı için kavga eden dişiler olabilir. Bu hatta örneğin yiyecek veya yuva kavgası olabilir. Yani eğer ödül büyük ve kavga maliyeti azsa, doğada kavgalar göreceksiniz. Ama işimiz daha bitmedi, neden bitmedi? Çünkü sadece  $V$ 'nin  $C$ 'den büyük olduğu duruma baktık. Yani  $C$ 'nin  $V$ 'den büyük olduğu durumu da ele almalıyız. Bu özellikle baktığımız koşulda kavga maliyetinin görece olarak ödülünden büyük olduğu durum.

Yine örneğe geri dönelim, diyelim ki kavganın maliyeti hayvanın bir bacağına kaybetmesi ve hatta hayatını kaybetmesi olsun ve ödül de sadece bugünkü yiyecek ve belki de dışarıda daha çok yiyecek var. O zaman farklı bir şeylerin olmasını bekleriz. Buna rağmen, bu koşulda bile popülasyonda sadece güvercinlerin bulunduğu bir durumun olamayacağı sonucuna varmıştık. Şunu göstermiştik kavga etmenin maliyeti görece olarak ödülünden daha büyükse, ortalıkta sadece güvercin genlerinin, pasif genlerin bulunması evrimsel kararlı olamaz. Bu durumda, eğer evrimsel kararlı bir şeyler varsa bu ne olmalıdır? Bir karma olmalıdır. Yani bu durumda, biliyoruz ki  $H$  ESS değil ve biliyoruz ki  $D$  ESS değil. Peki ya bir karma?

Peki ya bir P karması? Buraya gerçekten bir P koyabiliriz. Kararlı olan bir  $(P, (1-P))$  karmasını aradığımızı tahayyül edebiliriz. Şimdi evrimsel kararlı olmak için bir şans olan, bir ihtimali olan muhtemel karma popülasyonu nasıl bulmaya çalışırız?

Yani biz burada biyoloğuz. Bir deney yapmak üzereyiz. Ya deney yapmak veya dışarı gidip bir alan çalışması yapmak üzereyiz. Ve bazı şeyleri ayarlamak istiyorsunuz. Ve şu soruyu soruyoruz: görmeyi beklediğimiz karma nedir? Burada yapmamız gereken ilk egzersiz nedir? Eğer evrimsel kararlı olmak için bir umut varsa, ne olmak zorunda? Simetrik Nash dengesi olmak zorunda. Yani ilk adım, adım 1 bireylerin  $(P, (1-P))$  oynadığı simetrik Nash dengesini bulmak. Simetrik olduğu için iki taraf da bunu oynuyor olacak. Bu Çarşamba günkü sınav için iyi bir tekrar. Burada karma dengeyi nasıl bulabilirim? Çok fazla boş bakış olmamalı. Bunun Çarşamba günkü sınavda çıkma ihtimali var. Burada biraz davetsiz çağırma alalım. Karma stratejiyi nasıl bulurum? Sadece herhangi birini bulun. Nasıl buluruz – karma dengeyi nasıl bulurum?

**Öğrenci:** Sadece diğer oyuncunun getirisini kullanırız.

**Profesör Ben Polak:** Diğer oyuncunun getirilerini kullanırım ve diğer oyuncunun getirileriyle ne yaparım?

**Öğrenci:** Onları birbirine eşitleriz.

**Profesör Ben Polak:** Birbirine eşitleriz, tamam. Burada simetrik bir oyun var. Aslında dışarıda tek bir popülasyon var. Yani tek ihtiyacım, şahinin P'ye karşı veya  $(P, (1-P))$  ye karşı getirisine ihtiyacım var ve bunun güvercinin P'ye karşı getirisine eşit olmasına ihtiyacım var. Peki şahinin getirisi ne olacak? Sadece yukarıdan okuyarak – göstergemizi kullanalım – yani şahin P ile başka bir şahinle karşılaşacak ve bu getiriye alacak. Yani – P ile  $(V-C)/2$  getirisini alacaklar ve  $(1-P)$  ile güvercinle karşılaşır V getirisi alacaklar. Ve bu aynı karma  $(P, (1-P))$  ye karşı güvercin: P ile şahinle karşılaşacak ve hiçbir şey almayacak ve  $(1-P)$  ile başka bir güvercinle karşılaşacaklar ve  $V/2$  alacaklar. Bunu yapma şeklimden herkes memnun mu? Şimdiye kadar bu herkes için tanıdık sular olmalıydı değil mi? Bu iki şeyi eşitleyeceğim çünkü eğer bu gerçekten bir karma strateji dengesiye bunlar eşit olmak zorundalar. Ve sonra cebirle oynayacağım. Bize zaman kazandırmak için bunu evde yapmıştım, o yüzden bana güvenin – bu güven kelimesinin vurgulandığı bir ima – cebiri doğru yaptığıma güvenin veya evde yaptıklarımı kontrol edin. Bu şunu ima edecek P eşittir  $V/C$ .

Yani gerçekten de bir karma Nash dengesi varmış. Şu formatta bir karma Nash dengesi var, iki oyuncunun da  $V/C$  ve  $1-(V/C)$  oynadığı. Bu tam Nash dengesi midir? Nash dengesini buldum, bu tam mı? Herkes bağıyor olmalıydı. Bu tam mı? Tam olamaz çünkü karma değil mi? Tanım itibarıyla değil. Tam olamaz çünkü biliyoruz ki H'ye sapsak veya aynı şekilde D'ye sapsak aynı getiriye verir. Yani tam Nash dengesi

olamaz. Yani bir şeyi kontrol etmemiz gerekiyor. Yani tam olmadığını kontrol etmeliyiz, şunu kontrol etmeliyiz  $U(P, P')$   $U(P', P')$  den büyük mü değil mi ve bunu tüm olası mutasyonlar için kontrol etmeliyiz. Yine sınıfta yapmak için biraz fazla zaman alır, o yüzden bunun hakkında bana güvenin ve bir kez daha size daha önce vermiş olduğum buluşsal argümanı sunayım. Bu temelde aynı argüman.

Size daha önce vermiş olduğum buluşsal argüman şuydu: bizim aday dengeyden daha saldırgan bir  $P'$ , bir mutasyon hayal edin. Eğer daha saldırgansa o zaman kendine karşı çok kötü kazancı olacak çünkü bu durumda  $C, V$ 'den büyük. Yani aslında negatif getiri alacak kendine karşı. Kendine karşı negatif getiri aldığından, bu onun yok olmasıyla sonuçlanacak. Tam tersi, görel olarak daha yumuşak bir mutasyon hayal edin, görel olarak daha güvercinimsi, bu mutasyon yerliler için çok iyi çünkü yerliler ona karşı ezici üstünlük kuruyor veya çok yüksek getiri sağlıyorlar. Yani bir kez daha, daha güvercinimsi mutasyon yok olur. Yeniden, bu bir ispat değil ama argümana güvenin. Bunu göstermemiz gerekir ama gerçekten de böyle çıkıyor. Burada ne göstermiş olduk? Son parçayı ispat etmedi ama ortaya koyduğumuz şu oldu doğada kavganın maliyetinin kavgayı kazanmanın ödülünden büyük olduğu durumlarda %100 güvercin bulunan bir durum olamaz. Yani hiç kavganın olmadığı bir durum olamaz, örneğin: doğada hiç kavga olmamasını beklemeyiz. Ve sonunda %100 kavga olan bir durum da olamaz: doğada %100 kavga görmeyi beklediğimiz bir durum değil. Sonunda elimizde kalan bu şahinler ve güvercinler karması, öyle ki  $V/C$  şahinlerin oranı. Yani ortaya çıkan kavgalar temelde  $V/C$  kare.

Aslında bu kavgaları doğada gözlemleyebiliriz. Bundan ne dersler çıkarabiliriz? Biyoloji dersleri. Burada ESS'yi bulmak için geçen gün veya daha önce öğrendiğimiz pek çok şeyi kullandık. Bir nevi entel tarafını yaptık. Şimdi bundan biraz ders çıkarmaya çalışalım. Bildiğimiz ilk şey şu – burada ilgilendiğimiz şeyi saklamıştım – biliyoruz ki eğer  $V, C$ 'den küçükse o zaman evrimsel kararlı popülasyonda  $V/C$  oranında şahin vardır. Şimdi bunun ne kadarı akla yatkın geliyor bir bakalım. Yani  $V$  arttıkça, ödül büyüdükçe – eğer aynı türü alıp ödülleri daha büyük olmaya meyilli olduğu koşullara koyarsanız – ne görmeyi bekleriz? Şahinlerin oranının artmasını mı yoksa azalmasını mı bekleriz? Artmasını, doğru:  $V$  arttıkça, daha çok şahin görürüz. Başka ne görürüz? Sürpriz olmayacak şekilde  $C$  arttıkça – kavganın maliyetinin yüksek olduğu koşullara bakıyoruz – daha fazla güvercin görürüz. Şimdi bu ESS'de, yani evrimsel kararlı karmada daha fazla şahin görürüz. Ve evrimsel kararlı karmada daha fazla güvercin görürüz.

Tabii ki şöyle bir olasılık var incelediğimiz türler bu iki farklı koşulu algılayıp farklı kodlanmış olabilirler, bu iki farklı koşulda farklı davranmaya programlanmış olabilirler, ama bu şimdilik dersimizin dışında. Belki de daha ilginç bir gözlem getirilerle ilgili. Hadi bu türün tamamında genetik sağlığa bakalım. Bu karmada getiri nedir? Getirinin ne olduğunu nasıl bulacağız? Bu karmadaki getiriye aslında güvercinin getirisine bakarak oluşturabiliriz. Şahinin getirisine bakmak veya güvercinin getirisine bakmak hiç fark etmez. Biz güvercinin getirisine bakalım. Getiri neydi? Şuydu, eğer bir

güvercinseniz o zaman  $1-(V/C)$  ile başka bir güvercinle karşılaşacaksınız ve bu sefer  $V/2$  alırsınız ve bu güvercin olmanın getirisi aynı olmalı çünkü karma yapıyorlar. Getiri bu.

Kavga etmenin maliyetini yükselttikçe bu getirilere ne oluyor? C arttıkça ne olur? Sadece not etmek için, C artınca ne olur? Yani naif olarak düşünebilirsiniz, biyolojide evrimsel kararlı durum, doğada evrimsel bir durumda olduğunuzu düşünebilirsiniz, toplumdaki sizler için veya üzerinde konuştuğumuz karıncalar, antiloplar veya aslanlar için kavganın maliyeti arttıkça, toplumdaki getirilerin düşüğünü düşünebilirsiniz. Kavganın maliyeti artar, daha fazla kol bacak kaybedilir vesaire, bu türün genel genetik sağlığı için kötü olur gibi görünüyor. Ama aslında bunu bulmuyoruz. C arttıkça ne olur? Getiri yükselir. C arttıkça getiri yükselir. C'yi arttırdıkça bu düşer, dolayısıyla bu da artar. Herkes bunu gördü mü? Şu terime bakın  $(1-V/C)(V/2)$ , bu C ile artıyor. Bu nasıl işliyor? Kavganın maliyeti arttıkça, parmak, kol, bacak veya pençe veya her ne deniyorsa veya ayak veya neyi kaybetme ihtimaliniz varsa, onu kaybetme olasılığınız artıyor. Ama bu evrimsel kararlı karmada gerçekleşen kavgaların sayısı aşağı düşüyor ve bunu yeterince telafi edecek kadar düşüyor.

Bu harika bir şey gibi. Yani bu kavga ederek çok şey kaybedecek olan hayvanlar aslında toplamda gayet iyi duruma geliyorlar bu karma etkisi yüzünden. Bu bir stratejik etkiymiş gibi bir his var içimde. Şimdi tabii ki bu bir soru ortaya koyuyor o da şu, bu türün özellikle kavganın maliyetinin düşük olan bir kısmı evrilirse ne olur? Bacağı tekrar çıkabilir. Bu oldukça iyi olur gibi geliyor kulağa ve bu aslında türün geneli için kötü haber.

Burada gözlemleyebileceğimiz üçüncü şeye bazen belirleme (identification) denir. Peki, burada belirleme ne anlama gelir? Şu anlama gelir, doğadaki veriyi inceleyerek, dışarı çıkıp bu hayvanların davranışlarını saatler ve saatlerce filme alarak veya laboratuvar koşullarını değiştirerek ve nasıl etkileşimde bulduklarını gözleyerek veya alanda koşullarını değiştirip nasıl etkileşimde bulduklarını gözleyerek, gerçekten bir şeyi gözlemleyebiliriz: kavgaların oranını. Bilim gelişmiş olduğundan, belki de şimdi gerçekten genlerine doğrudan bakabiliriz ve bu V ve C'yi çıkarabiliriz.

Dışarıdaki şahin genlerinin oranına bakarak veya şahin davranışlarının oranına bakarak, V'nin C'ye oranının ne olması gerektiğini belirleyebiliriz. Verilere bakarak V/C oranının ne olduğunu bulabiliriz. Küçük bir matrisle başlamıştık, sadece V'leri ve C'leri yazmıştım, buraya hiç rakam koymadım. V'nin ne olduğunu bilemeyiz, C'nin ne olduğunu bilemeyiz, ama gerçek dünya verilerine bakarak ikisinin oranını bulabiliriz. Yani eğer doğa belgeselleri seyrederek televizyon önünde yeterince saat harcarsanız bunu geri çözümleyebilirsiniz. Kelime anlamıyla değil, gerçekten çok ciddi bir çalışma gerektirir. Yani bu teorinin ampirik bilime sağladığı faydalı bir girdi. Teorinin bilimi hazırlamasını istersiniz ki teorideki bilinmeyenleri geri çözümleyebilirsiniz: ve buna belirleme denir, sadece biyolojide değil ama aynı zamanda ekonomide de.



Şimdi teorinin belirlenebilir olma dışında başka bir şey daha olmasını istersiniz. Teorinin sınanabilir olmasını arzu edersiniz. Teorinin bir nevi başladığınız örneklemin dışında da tahminler yapabilmesini istersiniz. Söylediklerim sınıfta kimseye aşına geliyor mu? Umuyorum ki herkese aşına gelen bir fikirdir, birazcık filozofik ama çok tanıdık bir fikir. Yeni bir teoriniz var. Bu teorinin mevcut gerçekleri açıklayabilmesi bir şeydir, ama yeni gerçekleri tahmin etmesini de arzu edersiniz. Neden? Çünkü biraz kolay – çünkü bir modele tersine mühendislik yapmak veya teorinin mevcut gerçeklere uyması çok fazla kolay olabilir, ama eğer yeni gerçeklerle uğraşacaksa, bu heyecan verici, bu gerçek bir sınav. Bu akla yatkın mı? Bu teori hakkında soru sorabilirsiniz, şunu söyleyebilirsiniz, bu sadece bir sürü “bunun gibi hikâyesi”. “Bunun gibi hikâye” ile ne demek istediğimi bilen var mı? Bu Kipling tarafından yazılmış çocuk hikâyeleri ve insanlar bazen evrimsel teorinin çoğunu “bunun gibi hikâye” olmakla suçlarlar, çünkü zaten gerçeğin ne olduğunu bilirsiniz ve oyunu tersine çevirip sonradan bir hikâye oluşturursunuz. Bu kulağa iyi bilim gibi gelmiyor. Yani bu teorinin, Oyun Teorisini evrimle bağdaştıran teorinin daha önce görmemiş olduğumuz bir şeyi tahmin etmesini istersiniz. Ve sonra dışarı çıkıp onu arayabiliriz ve orada olup olmadığına bakabiliriz ve şimdi elimizde olan tam da bu. Son örneğimiz yine birazcık karmaşık bir oyun. Birazcık karmaşık olan oyunumuzda 3 strateji var ve stratejiler şu ad veriliyor, size stratejilere ne dendiğini birazdan açıklayacağım, ilk önce size getirileri vereceğim.

Bir kez daha bu saldırganlığın farklı çeşitleriyle ilgili bir oyun ve diğer yorumlara birazdan bakacağız. Bir kez daha, V kazanmanın ödülü olacak, 0 kaybetmenin ödülü olacak ve 1 eğer eşitlik olursa. Kendi yazdığımı okuyamayacak kadar miyobum. Umuyorum bunu doğru yapmışımdır, işte bu. İşte oyun bu ve V'nin 1 ve 2 arasında olduğunu varsayacağız. Yani V'yi kazanmak, 0'ı kaybetmek ve 1'i beraberlik olarak düşünebilirsiniz. Bu oyunun temelde ne olduğunu fark eden var mı? Bu temelde taş, kâğıt, makas. Ve öyle oluyor ki biyologlar taş, kâğıt, makas oynadıklarında buna farklı bir isim veriyorlar, buna şöyle diyorlar “tırmık, ısırık ve tepik” (scratch, bite, trample). Tırmık, ısırık ve tepik aslında Avustralya futbol takımının taktikleridir. Tırmık, ısırık ve tepik üç stratejimiz ve bu biraz taş, kâğıt, makasa benziyor. Bunu nasıl değiştiriyoruz? Birincisi, burada hiç negatif olmamasını garanti etmek için tüm getirilere 1 ekledik ve ikincisi kazanmaya 1'den biraz daha fazla ekledik. Eğer her şeye 1 ekleseydik – pardon, kazanmaya 1'den biraz az ekledik. Eğer her şeye 1 eklemiş olsaydık o zaman V iki olacaktı, ama biz V'yi 1 ile 2 arasında tuttuk.

Bu kesinlikle bir oyun, doğada olduğunu hayal edebilirsiniz, bu tür için 3 muhtemel strateji var ve getiri matrisi böyle görünüyor. Peki benim tahminim nereden gelecek? Bu taş, kâğıt, makas olduğundan evrimsel kararlı strateji için tek bir ümit var. Bu temelde taş, kâğıt, makas olduğundan eğer evrimsel kararlı bir strateji varsa veya evrimsel kararlı bir karma varsa bu ne olmalıdır? (1/3, 1/3, 1/3). Yani ESS için tek ümit (1/3, 1/3, 1/3) -- bunu ekleyelim. Yani 1/3, 1/3, 1/3 ve bunun gerçekten de karma strateji Nash dengesi olduğunu evde kontrol edebilirsiniz. Ve soru şu: bu evrimsel kararlı mı? Yani bunun Nash dengesi olduğunu biliyoruz, bunu size ben vermişim ve



bunun tam Nash dengesi olmadığını biliyoruz. Herkes takip edebildi mi? Tam Nash dengesi olamaz çünkü karma.

Yani eğer bu ESS ise o zaman – bunu kontrol etmeliyiz – buna daha önce yaptığımız gibi P diyelim – başka bir P' e karşı P'nin getirisinin P' ün kendine karşı getirinden büyük olduğunu kontrol etmeliyiz. Böyle olmasına ihtiyacımız var. Hadi P' tırmık olsun. Bunları karşılaştıralım. Yani tırmığa karşı P'nin U'su nedir? Tırmığa karşı oynuyorsunuz, siz 1/3 tırmık, 1/3 ısırık, 1/3 tepiksiniz. Yani 1/3 ile 1 alırsınız, 1/3 ile hiçbir şey almazsınız ve 1/3 ile V alırsınız. Doğru mu? Yani sizin getiriniz  $(1+V)/3$ . Tırmığa karşı tırmık olsaydık nasıl kazanırdık? Tırmığa karşı tırmığın getiri ne kadar? Bunun için ödül vermem, tırmığa karşı tırmığın getirisi kaç? 1. Hangisi daha büyük,  $(1+V)/3$  mü yoksa 1 mi? Bakalım, V 2'den küçük yani  $(1+V)/3$  de 1'den küçük. Yani 1 daha büyük. Yani bu oyunda evrimsel kararlılık için tek umut  $(1/3, 1/3, 1/3)$  tü ve bu kararlı değil.

İşte bir örnek. Bu örnekte evrimsel kararlı strateji yok. Evrimsel kararlı bir karma yok. O zaman akla gelen ilk soru şu, doğada bu ne anlama gelir? Doğada taş, kâğıt, makas gibi koşulların olduğu ve içinde ES bulunmayan bir durum bulabilir miyiz? Eğer hiçbir şey ES değilse ne olacak? Bir nevi döngü göreceğiz. Bir sürü tırmık stratejisi ve ardından bir sürü tepik stratejisi ve ardından bir sürü ısırık stratejisi vesaire göreceksiniz. Bunlara baktığınızda gördüğünüz tam da bu olur aslında, webde size verdiğim örneğe. Nature dergisinde belli bir tip kertenkeleye bakan 90 ların ortasında çıkmış bir makale var. Ve bu kertenkeleler 3 renkte bulunuyorlar. Renklerin ne olduğunu unuttum, onları yazdığımı biliyorum. Biri turuncu, biri sarı ve biri mavi. Ve bu kertenkelelerin 3 stratejileri var. Turuncu kertenkele bizim kocaman erkek deniz filimiz gibi kalabalık bir harem veya içinde çiftleşecek çok sayıda dışının bulunduğu bir bölgeyi tutmayı seviyor. Ama bizim SKD (SLF) stratejimiz tarafından istilaya uğrayabiliyor ki bu da sarı kertenkele oluyor. Sarı keler istila edip dışı kelerlerin bir kaçıyla çiftleşebiliyor. Ama bu sinsi sarı kelerlerin sayısı çok fazla olduğunda, o zaman bunların da mavi keler tarafından istila edilebileceği ortaya çıkıyor: ve mavi kelerler çok daha küçük bölgelere sahipler, yani nerdeyse tek eşliler.

Doğada bir döngü oluyor, turuncu sarı tarafından istila ediliyor, sarı mavi tarafından: haremci sinsi tarafından, sinsi tek eşli tarafından ve tek eşli yine haremci tarafından istila ediliyor. Gerçekten de popülasyon modelde öngörüldüğü gibi döngüye giriyor. Yani işte gerçekten dışarı çıkıp oynayabileceğimiz ve bulabileceğimiz evrimsel teoriye, Oyun Teorisi aracılığıyla, bir örnek. Biyologlar için bu bir kara delik bulmak gibi bir şeydi, gerçekten çok şık bir şeydi. Burada evrimi bırakıyoruz: Çarşamba günü ara sınav var. Gelecek hafta geri geldiğimizde tamamen farklı bir şey yapacağız. Çarşamba görüşürüz.

[ses birden kesiliyor]



[transkript sonu]