

چگونه افراد جمعیت همکاری میکند

پنج قانون همکاری

جمعیت از افراد ساخته شده و رفتار جمعی در واقع از اکولوژی رفتاری و استراتژی‌های زندگی این افراد شکل می‌گیرد. به بیان تکاملی، ویژگی‌های جمعیت را زمانی میتوان فهمید که تک تک افراد بررسی شود و در واقع باید به مطالعه انتخاب‌های فردی (و در نتیجه توزیع فراوانی ژن) پرداخته شود که توسط نیروهای محیطی شکل می‌گیرد. در این کتاب به پنج مکانیسم اصلی رفتار جمعی خواهیم پرداخت. همکاری به این معنی است که دهنده، هزینه C را پرداخت و گیرنده منفعت B را دریافت میکند. در بیولوژی، هزینه و فایده بر حسب شایستگی بیان میشود. سلکسیون و موتاسیون نیروهای اصلی دینامیک تکامل هستند ولی همکاری نیز از اصول اساسی است که برای هر سطحی از سازماندهی بیولوژیکی مورد نیاز است. یک سلول منفرد متکی به اندامک‌ها داخلی خود است. موجودات چند سلولی نیز متکی به همکاری سلولهای مختلف بدن خود هستند. حشرات اجتماعی استاد انجام رفتارهای اجتماعی هستند. در انسان نیز مکانیسم‌هایی برای همکاری وجود دارد. پنج اصل همکاری در این مبحث مورد اشاره قرار می‌گیرد.

انتخاب فویشاوندی (kin selection)

بسیاری از روابط همکاری در حیوانات در واقع بین خویشاوندان انجام میشود. ارتباط دقیق بین انتخاب خویشاوندی و انتخاب گروهی و همکاری متقابل روشن نیست. اخیراً معلوم شده است که همکاری بین حشرات اجتماعی بیشتر به صورت انتخاب گروهی است و نه انتخاب خویشاوندی. انتخاب خویشاوندی بیشتر در گروه‌های کوچک عمل میکند و اگر جمعیت دارای روابط خویشاوندی بالایی نباشد، متوسط ضریب خویشاوندی کم خواهد بود.

هالدین روزی در انگلستان گفته بود: "خودم را برای دو برادر و یا هشت پسر عمو به رودخانه خواهم انداخت" این مطلب را ویلیام هامیلتن در تز دکتری خود ارائه کرد. او در یک دهه، زندگی خود را در جنگل‌های برزیل به سر برد. تز او مقاله مهمی در زمینه بیولوژی رفتار بود. مینارد اسمیت در سال ۱۹۶۴ برداشت او را به صورت سلکسیون خویشاوندی نام نهاد. همکاری بین خویشاوندان زمانی توسط انتخاب طبیعی به پیش برده میشود که ضریب خویشاوندی ژنتیکی دو نفر دهنده و گیرنده (r) بیشتر از نسبت هزینه به فایده عمل نوع دوستانه باشد: $r > c/b$

همکاری متقابل مستقیم (Direct reciprocity)

بازیگر بر اساس تعامل‌های تصادفی او با دیگران تعیین میشود. اگر X فراوانی همکاران و 1-X فراوانی ردکنندگان باشد. در این صورت برآمد مورد انتظار برای یک همکاری کننده برابر است با $fC = Rx + S(1-x)$ و برآمد رد کننده برابر است با $fD = Tx + P(1-x)$ ، ردکنندگان دارای برآمد بالاتری در مقایسه با همکاری کنندگان خواهند بود. در تئوری بازی تکاملی، برآمد در واقع شایستگی است. استراتژی‌های موفق سریع‌تر بازتولید میشوند و استراتژی‌های غیر موفق را از میدان خارج میکنند. بازتولید ممکن است به صورت فرهنگی و یا ژنتیکی باشد. در یک معمای زندان غیر تکراری و در یک جمعیت به خوبی مخلوط شده، ردکنندگان حتماً همکاری کنندگان را از دور خارج میکنند. انتخاب طبیعی به نفع ردکنندگان است. همکاری زمانی گزینه قابل بحث خواهد بود که بازی تکرار شود. فرض کنیم که M دور بازی داریم و می‌خواهیم دو استراتژی را مقایسه کنیم: استراتژی اول - همیشه رد کردن (ALLD) و استراتژی دوم - همکاری در اولین حرکت و پس از آن همکاری در زمانی که طرف مقابل همکاری میکند و

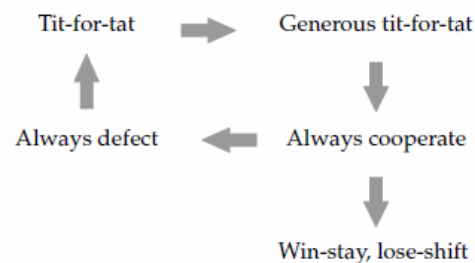
چگونه انتخاب طبیعی منجر به همکاری بین افراد غیر خویشاوند میشود. سمیوز تمیز کردن در ماهی، علایم اخطار در پرندگان و روابط انسانی چگونه شکل می‌گیرند. در معمای زندان دو بازیگر یا اعتراف (همکاری) میکنند و یا انکار. اگر اعتراف کنند جایزه R را میگیرند و اگر هر دو همکاری نکنند، جریمه P را دریافت میکنند. اگر یکی همکاری کند و دیگری نکند، همکاری کننده برآمد S را دریافت میکند و آن یکی دیگر وسوسه T را. معمای زندان دارای ترتیب زیر است: $T > R > P > S$ شما همکاری خواهید کرد یا نه؟ اگر دیگری همکاری کند شما نباید همکاری کنید زیرا $T > R$. فرض کنیم که دیگری همکاری نکند. در این صورت شما نیز بهتر است همکاری نکنید زیرا $P > S$. بنابراین بدون اینکه لازم باشد بدانیم فرد دیگر چه میکند بهتر است در هر حال ما همکاری نکنیم. اگر هر دو نفر بازی را به همین صورت تحلیل کنند، نتیجه بازی عدم همکاری است. معما میگوید که اگر هر دو آنها همکاری کنند برآمد بیشتری نصیب خود میکنند ولی همکاری غیر منطقی است. میتوان جمعیتی از همکاران و غیر همکاران را فرض کرد که برآمد هر

عدم همکاری در زمانی که طرف مقابل برای اولین بار همکاری را رد کند (GRIM). برآمد GRIM در برابر GRIM برابر است با nR . برآمد مورد انتظار ALLD در برابر GRIM برابر است با $T + (m-1)P$. اگر $nR > T + (m-1)P$ باشد در این صورت ALLD نمی‌تواند در یک جمعیت GRIM دوام بیاورد بخصوص اگر این جمعیت نادر و کم باشد. این، آرگومان پایداری تکاملی است. مشکل کوچکی که در تحلیل بالا وجود دارد این است که اگر تعداد دور بازی مشخصی وجود داشته باشد، بهتر است که همیشه در آخرین دور بازی، عدم همکاری را انجام دهیم و همواره با توجه به عکس‌العمل دیگران باید در پاسخ عدم همکاری، عدم همکاری را برگزید. بنابراین طبیعی است که یک بازی مکرر را در نظر بگیریم که در آن احتمال داشتن هر بازی برابر W باشد. در این صورت تعداد مورد انتظار دورهای بازی برابر است با $1/(1-W)$ و استراتژی GRIM زمانی در برابر تهاجم استراتژی دیگر پایدار خواهد بود که $W > (T-R)/(T-P)$. همچنین میتوانیم معمای زندان را به صورت زیر فرموله کنیم. همکاری با هزینه C عمل میکند و نفر دیگر منفعت b را میبرد. ردکننده کمک نمیکند. بنابراین خواهیم داشت: $T=b$ ، $R=b-C$ ، $P=0$ ، $S=-C$. خانواده‌ای از بازیها که توسط پارامتر b و C توصیف میشوند زیر مجموعه‌ای از همه بازی‌های معمای زندان محتمله است در زمانی که $b > C$ باشد. با تکرار معمای زندان متوجه خواهیم شد که اگر $w > c/b$ (معادله شماره ۲) باشد استراتژی ALLD نمیتواند استراتژی GRIM را مورد تهاجم قرار دهد. احتمال داشتن یک دور بازی دیگر باید بر نسبت هزینه به فایده یک عمل نوع‌دوستانه بچربد. البته باید به این فرض اجباری توجه داشت که برآمد برای دورهای بازی در آینده تنزل نمیکند و منافع دورهای بازی دورتر برابر منافع بازی حاضر می‌باشد. در تکامل یک چنین چیزی وجود ندارد. میتوان چنین موضوعی را با استفاده از فاکتور مناسب تنزلی W بکار برد ولی با توجه به معادله ۲، باید توجه داشت که احتمال همکاری کمتر خواهد شد. بنابراین تکرار معمای زندان باعث ایجاد همکاری میشود ولی یک سوال مطرح میشود: برای چنین بازی چه استراتژی مطلوب خواهد بود؟ رابرت اکسلرود دانشمند سیاسی این سوال را مطرح کرد و در سال ۱۹۷۹ تورنمنتی از برنامه‌های کامپیوتری را به راه انداخت که معمای زندان را به طور مکرر باز میکردند. از میان ۱۴ داده بدست آمده، متوجه شد که برنده سورپریز ساده‌ترین استراتژی را اجرا کرده بود که استراتژی TFT (tit for tat) بود. در این استراتژی، در حرکت اول همکاری صورت می‌گیرد و حرکت دوم بستگی به حرکت طرف مقابل دارد. به این معنی که اگر شما همکاری کنید او هم همکاری میکند و اگر همکاری نکنید او هم همکاری نمیکند. اکسلرود حوادث تورنمنت را تحلیل کرد و منتظر بود تا مردم استراتژی‌های دیگری را برای دور دوم رقابت مطرح کنند.

این بار ۶۳ داده بدست آورد. جان مینارد اسمیت استراتژی tit for two tat را ارائه کرد که شکل خاصی از استراتژی قبلی بود و تنها زمانی همکاری را رد میکرد که طرف مقابل دو بار رد کرده بود. در این بازی تنها یک نفر استراتژی TFT را بازی کرده بود و هم او برنده شده بود. در این زمان TFT قهرمان نامطلوب و بدنام در جهان قهرمانان بازی مکرر معمای زندان شده بود. به زودی یک نقطه ضعف پیدا شد. استراتژی TFT قادر نیست اشتباهات را تصحیح کند. تورنمنت بدون هیچ گونه اخلاص (noise) استراتژیک انجام شده بود. در دنیای واقعی دسته‌ای لرزان و مغزهای پریشان ایجاد حرکت‌های اشتباه میکنند. اگر دو بازیگر TFT با هم تعامل کنند، یک اشتباه ساده منجر به یک رشته طولانی از اعمال همکاری و عدم همکاری خواهد شد. در دراز مدت دو بازیگر TFT برآمد کمی را دریافت خواهند کرد و درست شبیه زمانی است که دو بازیگر از بازی شیر یا خط برای همکاری و یا عدم همکاری خود استفاده کنند. خطاها باعث از بین بردن و تخریب استراتژی TFT میشود. در مجله طبیعت مقاله‌ای منتشر شد که در آن سه نکته مهم اشاره شده بود: اول- در بررسی حضور افراد در میتینگ‌های دانشگاهی و با در نظر گرفتن این که افراد خودخواه معمولاً از نیرنگ استفاده میکنند، به چگونگی انتخاب طبیعی و اثر همکاری آنها پرداخته بود. ۲- تکرار معمای زندان خالی از خطا نخواهد بود ولی در معرض اخلاص است و ۳- اینکه پایداری تکاملی نه تنها در برابر مهاجمین منفرد بلکه در برابر مهاجمین غیرهمگن باید مورد آزمایش قرار گیرد. کار بعدی آغاز شد. در سال ۱۹۸۹ یک تورنمنت تکاملی اجرا شد که در آن به جای دعوت از افراد خبره جهت ارائه برنامه درخواست کرده بود که موتاسیون و سلکسیون فضای استراتژی معمای زندانی مکرر را در حضور اخلاص ارائه نمایند. استراتژی‌های تصادفی اولیه بلافاصله توسط استراتژی ALLD تحت غلبه درآمد. اگر اپوزیسیون به صورت تصادفی عمل میکند، بهتر است که عدم همکاری صورت گیرد. نسبت زیادی از جمعیت استراتژی ALLD را انتخاب کردند و به نظر میرسید که همه چیز تمام است ولی بعد از مدتی خوشه کوچکی از بازیگران یک استراتژی بسیار نزدیک به استراتژی TFT را بروز دادند. اگر چنانچه این خوشه به اندازه کافی بزرگ بود، به مرور تعداد و فراوانی آن زیاد میشد و تمامی جمعیت از استراتژی ALLD به استراتژی TFT تغییر میدادند. مقابله به مثل (و در نتیجه همکاری) بروز می‌یافت. می‌توان نشان داد که TFT بهترین کاتالیزور برای بروز همکاری است ولی لحظه باشکوه این استراتژی TFT مختصر و زودگذر بود. در تمامی موارد استراتژی TFT به سرعت توسط استراتژی دیگری جایگزین میشد. بررسی نزدیک این رفتارها نشان داد که استراتژی جدید (generous TFT or GTFT) بود به این معنی که اگر طرف مقابل دفعه قبل

همکاری می‌کند، با او همکاری می‌شد ولی در برخی موارد حتی اگر طرف مقابل همکاری نمی‌کرد نیز با او همکاری می‌شد. انتخاب طبیعی، مبحث بخشندگی (forgiveness) را پوشش داده بود. بعد از چندین نسل استراتژی GTFT توسط استراتژی همکاران غیر شرطی^۱ ضعیف می‌گردید. در جامع‌های که همه خوب هستند (استراتژی GTFT)، دیگر نیازی به این نیست که چگونه در برابر عدم همکاری، به تلافی آن اقدام شود. یک صفت بیولوژیکی که مورد استفاده قرار نگیرد به احتمال زیاد توسط رانش تصادفی حذف خواهد شد. پندگانی که به جزایر دور دست پرواز میکنند اگر در معرض شکارچی قرار نگیرند، توان پرواز خود را از دست خواهند داد. همین اتفاق برای جامعه GTFT صورت گرفت و پس از ضعیف شدن این استراتژی، تبدیل به جمعیتی با استراتژی ALLC شد. وقتی همه مردم استراتژی ALLC را بازی کردند، این استراتژی قوت می‌گیرد. این درست همان چیزی است که در عمل اتفاق افتاده است. دینامیک تکاملی به صورت چرخه‌های زیر مشاهده شد: ALLD به TFT به GTFT به ALLC و دوباره برگشت به ALLD. این نوسان جمعیتها با رفتار همکاری و رد همکاری بخش اصلی مشاهدات ما در رابطه با تکامل رفتار همکاری است. اغلب مدل‌های همکاری یک چنین نوساناتی را نشان می‌دهند. همکاری هیچوقت حالت نهایی یک دینامیک تکاملی نیست. در عوض همیشه بعد از مدتی جای خود را به عدم همکاری می‌دهد و باید دوباره برای استقرار آن نیرو گذاشت. این نوسانات همواره یادآور دوره‌های متناوب جنگ و صلح در تاریخ بشر بوده است (تصویر ۱).

تصویر ۱- چرخه تکاملی همکاری و رد همکاری



در این تصویر نشان می‌دهد که خوشه‌ای از افراد با استراتژی TFT در یک جمعیت محدود منجر به افرادی با استراتژی بدون همکاری همه جمعیت (ALLD) خواهد شد. به بیان دیگر TFT موثرترین کاتالیزور برای بروز اولین رفتارهای همکاری در جمعیت‌های ALLD می‌باشد. ولی در جامعه‌ای که افراد با دست لرزان و مغز ناپایدار وجود دارد، استراتژی TFT بهزودی جای خود را به GFTF خواهد داد که بعد از اشتباهات پراکنده و اتفاقی دوباره همکاری بین جمعیت را رواج می‌دهد. اگر همه

^۱ unconditional cooperators, ALLC

افراد از استراتژی GTFT استفاده کنند، در این صورت همیشه همکاری (ALLC) به صورت یک واریانت خنثی بروز میکند. رانش تصادفی، جامعه را به سمت ALLC می‌برد. جامعه ALLC منتظر حمله افراد ALLD می‌ماند ولی همیشه اینگونه نیست و برخی موارد استراتژی WLSL (win-stay, lose-shift) غلبه خواهد کرد که منجر به ایجاد حالت همکاری پایدارتر از حتی استراتژی‌های شبه TFT می‌گردد. به عبارت دیگر مدل‌سازی‌های متعدد نشان داد که بعد از اینکه جامعه به حالت ALLD رسید یک سورپریز رخ می‌دهد. نوسانات اساسی، توسط استراتژی دیگری گسیخته می‌شود که ظاهراً می‌تواند زمینه را برای مدت زمان طولانی حفظ کند. عجیب‌تر اینکه این استراتژی بر پایه اصل بسیار ساده WLSL است. اگر برآمد من R یا T است در این صورت در دور بعدی همچون الان عمل خواهیم کرد. اگر تا حالا همکاری می‌کرده‌ام از حالا به بعد نیز همکاری ادامه می‌یابد و اگر تاکنون عدم همکاری داشته‌ام، اکنون هم به همین رویه ادامه می‌دهم. اگر برآمد من S یا P باشد در این صورت در دور بعدی عمل و حرکت دیگری انجام می‌دهم. اگر تاکنون همکاری می‌کرده‌ام، از این به بعد عدم همکاری است و اگر تاکنون عدم همکاری بوده است به همکاری خواهیم پرداخت (تصویر ۲).

تصویر ۲- استراتژی WLSL و اصول بسیار ساده آن

Win-stay	
C (3).... C	D (5).... D
C	C
Lose-shift	
C (0).... D	D (1).... C (probabilistic)
D	D

اگر دو استراتژیست WLSL به هم بازی کنند، اغلب مواقع با هم همکاری خواهند کرد و اگر به طور ناگهانی یک عدم همکاری بین آنها رخ دهد، در حرکت بعدی هر دو، روش عدم همکاری را در پیش می‌گیرند و از آن پس دوباره همکاری می‌کنند. WLSL یک ماشین ساده تعیینی برای تصحیح اخلاص‌های استوکاستیک است. در حالی که روش TFT قادر به تصحیح خود نیست ولی هم روش GTFT و هم استراتژی WLSL قادر به تصحیح خود هستند. ولی WLSL یک آس دیگر نیز در دست دارد. وقتی WLSL به صورت ALLC بازی میکند، بعد از مدتی افراد با استراتژی ALLC دیگر به تلافی کردن روی نمی‌آورند. بعد از یک عدم همکاری تصادفی، WLSL به سمت عدم همکاری دائم تغییر جهت می‌دهد و در نتیجه جمعیت بازیگرانی که به صورت WLSL بازی میکنند به سمت ALLC حرکت نخواهند کرد. همکاری بر پایه WLSL به مراتب پایدارتر از همکاری بر پایه استراتژی‌های شبه TFT است. در استراتژی WLSL اگر شما خوب عمل کنید به آن

عمل ادامه می‌دهید و اگر خوب عمل نکنید، روش دیگری را برخواهید گزید. در این تصویر برآمد معمای زندان را به ترتیب برابر $R=3$ ، $T=5$ ، $P=1$ و $S=0$ در نظر گرفتیم. اگر دو بازیگر همکاری کنند، شما سه امتیاز دریافت میکنید. اگر بر علیه همکاری کننده، عدم همکاری پیشه کنید، پنج امتیاز دریافت کرده و عدم همکاری پیشه میکنید. از طرف دیگر اگر شما بر علیه یک ردکننده، رفتار ردکننده داشته باشید، یک امتیاز دریافت می‌کنید و به رفتار همکاری رو خواهید آورد. آرزوی شما ۳ امتیاز است. اگر شما ۳ امتیاز بدست آورید آن را پیروزی تلقی میکنید و همچنان بر انتخاب جاری خود خواهید ماند و اگر از سه امتیاز کمتر بدست آورید آنرا به عنوان شکست تلقی کرده و حرکت دیگری را برخواهید گزید. اگر $R > (T+P)/2$ یا $b/c > 2$ باشد، در این صورت WSL علیه تهاجم افراد ALLD پایدار خواهد بود. اگر این عدم تساوی نباشد، مدل تکاملی ما را به سمت یک واریانت استوکاستیک WSL هدایت میکند که فقط با یک احتمال مشخص و بعد از یک DD همکاری خواهد

همکاری متقابل غیر مستقیم

در حالی که همکاری متقابل مستقیم در بردارنده این ایده است که شما من را خط بزیند و من شما را، ولی همکاری متقابل غیر مستقیم دلالت بر آن دارد که شما مرا خط خواهید زد و من کس دیگری را. این چگونه ممکن است؟ احتمالاً اگر همه بدانند که من روی کسی خط نکشیده‌ام، کسی مرا خط نخواهد کشید. همکاری متقابل غیر مستقیم در این منظر بر پایه "اشتهار" بنا شده است. ولی شما چرا مواظب آن کاری هستید که من در مورد فرد سوم انجام می‌دهم؟ دلیل اصلی که اقتصاددانان و دانشمندان علوم اجتماعی به بررسی همکاری متقابل غیر مستقیم می‌پردازند این است که تعامل‌های تک ساحتی (One-shot) بین شریک‌های ناشناخته در بازار جهانی، دائماً رو به ازدیاد است و در واقع در حال جایگزین شدن با ارتباطات بلند مدت سنتی و ارتباطات درازمدت بین آشنایان، همسایه‌ها و یا اعضای جامعه کوچک (مثلاً روستا) است. در اینجا نیز همچون انتخاب خویشاوندی، مسئله اندازه گروه مهم است. قسمت عمده زندگی ما در کمپانی‌های غربیه سپری میشود و دیگر مواجهه روبرو با کسی نداریم. رشد معاملات آن‌لاین و دیگر اشکال تجارت الکترونیکی به میزان قابل توجهی بر پایه اشتها و اطمینان نهاده شده است. احتمال بهره‌برداری از این گونه اطمینان‌ها موجب بروز پدیده‌ای شده است که اقتصاددانان آنرا مخاطرات اخلاقی (moral hazards) می‌نامند. اشتها چگونه عمل میکند به ویژه اگر اطلاعات ما ناقص هم باشند؟ از طرفی بیولوژیست‌های تکاملی از بروز جوامع انسانی دم میزنند که گذشته اغلب تحولات تکاملی را شامل میشوند و بر خلاف دیگر گونه‌های اجتماعی حقیقی (eusocial) همچون زنبور عسل، مورچه و

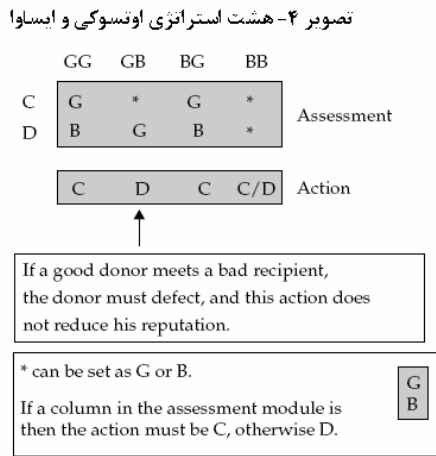
کرد. در این صورت این واریانت استوکاستیک WSL بر علیه تهاجم افراد ALLD پایدار خواهد بود. معمای زندان تکرار شده اغلب به عنوان یک ماجرای TFT شناخته میشود ولی WSL یک استراتژی عالی در سناریوی تکاملی است که در آن موتاسیون‌ها و خطاها در نظر گرفته شده و در ضمن چند نسل در آن دخالت دارد. در یک بازی نامحدود، اگر $b/c > 2$ باشد، WSL بر علیه تهاجم ALLD پایدار است. اگر $b/c < 2$ باشد یک واریانت استوکاستیک غلبه خواهد کرد که بعد از یک عدم همکاری دو طرفه و متقابل و البته با یک احتمال مشخص به همکاری خواهد پرداخت. البته تمامی استراتژی‌های همکاری متقابل مستقیم از قبیل TFT، GTFT و WSL تنها زمانی منجر به بروز و تکامل همکاری خواهد شد که عدم تساوی معادله ۲ تامین نشده باشد.

موربانه، انسان عمده رفتارهای همکاری خود را بین افراد غیر خویشاوند انجام میدهد. قسمت عمده همکاری بین انسانها بر پایه هیجانان اخلاقی انجام میشود و به همین دلیل است که اغلب انسانها در برابر انسان فریب‌کار (cheater) عصبانی میشوند و در برابر یک عمل نوع‌دوستانه یک گرمای مطلوب درونی در آنها توسعه می‌یابد. انسانها نه تنها در برابر تعاملاتی که به طور مستقیم بین آنها است به وجد می‌آیند بلکه در مورد عمل فرد سوم (third party) نیز که به صورت شایعاتی (gossip) خود را نشان میدهد و به گوش آنها میرسد، قضاوت میکنند. تحقیقات زیادی در مورد همکاری متقابل غیر مستقیم بر پایه اشتها انجام شده است. مدل ساده‌ای از آن فرض را بر این میگذارد که بین یک جمعیت به خوبی مخلوط شده، افراد به طور تصادفی با هم برخورد میکنند و یکی در نقش دهنده و دیگری در نقش گیرنده ظاهر میشود. هر فرد، چند دور این تعاملات را در هر دو نقش بازی میکند ولی تقریباً هیچگاه این عمل برای یک نفر دوبار تکرار نمیشود. یک بازیگر یا میتواند یک استراتژی غیر شرطی (همچون همکاری دائمی و یا عدم همکاری دائمی) را دنبال کند و یا یک استراتژی شرطی را برگزیند که بین دهنده‌های بالقوه بر اساس تعاملات گذشته آنها تمایز قایل شود. در یک مثال ساده، یک دهنده تمیز دهنده، زمانی که گیرنده از نظر امتیاز از حد آستانه‌ای مشخصی عبور کند، وی را کمک خواهد کرد. نمره بازیگر در زمان تولد برابر صفر است و اگر کمک کند این امتیاز افزایش می‌یابد و اگر از کمک اجتناب کند کاهش خواهد یافت. مدل‌سازی‌های مبتنی بر فرد و نیز محاسبه مستقیم نشان میدهد که همکاری متقابل غیر مستقیم

زمانی ایجاد میشود که احتمال q یعنی احتمال دانستن امتیاز یا نمره اجتماعی فرد دیگر بیشتر از نسبت هزینه به فایده یک عمل نوع دوستانه باشد: $q > c/b$

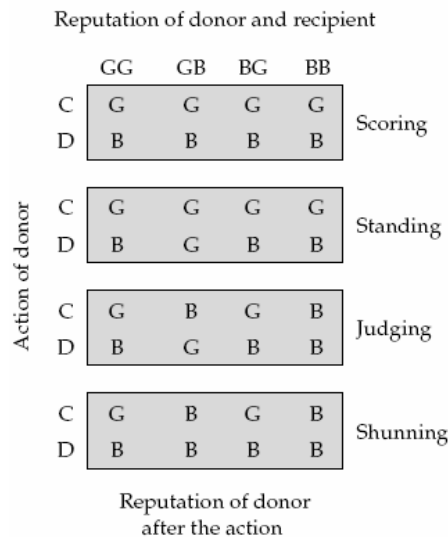
نقش ارتباط ژنتیکی که در انتخاب خویشاوندی بسیار اساسی است، در اینجا به عهده آشنایی اجتماعی گذاشته شده است. در یک جامعه سیال که اغلب تعاملات بین افراد به صورت ناشناخته است و مردم امکان پایش نمره اجتماعی دیگران را ندارند، همکاری متقابل غیر مستقیم شانس ندارد ولی در یک جامعه به هم چسبیده و چگال که مردم شهرت همدیگر را میشناسند، همکاری متقابل غیر مستقیم کاربرد دارد. در دنیایی از قضاوت‌های اخلاقی دوگانه (binary) چهار راه برای ارزیابی داده‌ها بر حسب ارزیابی درجه اول وجود دارد: ۱- همیشه آنها را خوب تلقی کنیم، ۲- همیشه آنها را بد تلقی کنیم ۳- اگر دهنده‌گی را رد کردند آنها را خوب تلقی کنیم و ۴- اگر دهنده‌گی را پذیرفتند آنها را خوب تلقی کنیم. تنها موردی که عملاً می‌توانیم روی آن کار کنیم مورد آخر است. ارزیابی درجه دوم نیز تابع امتیاز یا نمره دریافت‌کننده است برای مثال میتوان این‌گونه پنداشت که رد کردن کمک به یک فرد بد خوب است. ۱۶ قاعده درجه دوم داریم. ارزیابی درجه سوم تابع نمره‌دهنده است برای مثال فرد خوبی که کمک به فرد بد را رد میکند ممکن است خوب بماند ولی فرد بدی که کمک به فرد بد را رد میکند همچنان بد بماند. تعداد ۲۵۶ قاعده ارزیابی درجه سوم وجود دارد که در تصویر ۳ چهار نشان داده شده است.

را مورد قضاوت قرار میدهد. در این تصویر ۴ مثال از قواعد ارزیابی در دنیایی از اشتها دو تایی خوب (G) و بد (B) ارائه شده است. در مورد ارزیابی نمره‌دهی (scoring)، همکاری (C) اشتها خوب و عدم همکاری، اشتها بد (B) ایجاد میکند.



ارزیابی استندینگ (standing) بسیار شبیه ارزیابی نمره‌دهی است و تنها تفاوت آنها در این است که یک دهنده خوب میتواند در برابر یک گیرنده خوب عدم همکاری کند بدون اینکه اشتها خوب خود را از دست بدهد. به این معنی که اگر یک دهنده خوب در برابر یک گیرنده بد عدم همکاری کرد، بد نیست. توجه داشته باشیم که ارزیابی نمره‌دهی همراه با مجازات هزینه‌دار است در حالی که در ارزیابی استندینگ، مجازات گیرنده بد، بدون هزینه است. در مورد ارزیابی قضاوتی (judging) کمک به یک گیرنده بد، بد است و نباید با او همکاری کرد. ارزیابی اجتناب (shunning)، اشتها بد را به هر دهنده‌ای میدهد که با یک گیرنده بد تعامل دارد. یعنی تمامی دهنده‌هایی که با یک گیرنده بد ملاقات دارند بد خواهند بود بدون اینکه عملی که آنها انجام میدهند در نظر گرفته شود. ارزیابی اجتنابی در یک تورنمنت کامپیوتری توسط فرد برنده دیده شده است بخصوص اگر خطای درک وجود داشته و یا اینکه تعداد معدودی از دور بازی‌ها وجود داشته باشد. یک قاعده عمل در همکاری متقابل غیر مستقیم به تجویز استراتژی دادن و ندادن میپردازد و این تصمیم را بر اساس نمره هر دو نفر گیرنده و دهنده انجام میدهد. برای مثال ممکن است شما در صورتی که نمره گیرنده خوب است و یا نمره خودتان بد است به او کمک کنید. چنین عملی نمره خود شما را بالا میبرد و در نتیجه شانس گرفتن کمک در آینده را برای شما افزایش میدهد. ۱۶ قاعده کمک وجود دارد. اگر یک استراتژی را به عنوان ترکیبی از یک قاعده عمل و یا قاعده ارزیابی در نظر بگیریم، در این صورت ۴۰۹۶ استراتژی در برابر ما خواهد بود. در یک مقاله تمامی این استراتژی‌ها تحلیل شدند و ثابت گردید که فقط ۸ تا از آنها در شرایط خاصی، پایداری تکاملی دارند و

تصویر ۳- چهار قاعده ارزیابی



بر اساس قانون ارزیابی نمره، همکاری C همواره منجر به اشتها مثبت و خوب G خواهد شد در حالی که عدم همکاری D همواره به اشتها بد B منجر میشود. قواعد ارزیابی مشخص میکند که چگونه مشاهده‌کننده، تعامل بین یک دهنده بالقوه و یک گیرنده

² social acquaintanceship

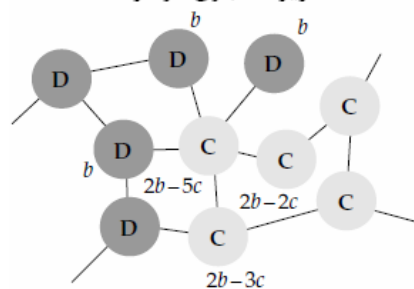
منجر به همکاری خواهند شد (تصویر ۴) مشروط بر اینکه هر فرد با شهرت دیگری موافق باشد. معمولاً عدم حتمیت و نداشتن اطلاعات کامل در مورد افراد منجر به این خواهد شد که در مورد شهرت دیگران لیست اختصاصی بوجود آوریم. وجود ستاره نشانه آن است که میتوان بین G و B انتخاب آزاد داشت. به هر حال تعداد $A=2^3$ قاعده ارزیابی متفاوت وجود خواهد داشت. ماژول عمل به این صورت خواهد بود که اگر ستون ماژول ارزیابی G و B بود عمل مربوطه C خواهد شد. توجه شود که اعضای استندینگ و قضاوت کننده جزو این A تا هستند ولی اعضای نمره‌دهی و اجتناب نیستند. البته انتظار داریم که نمره‌دهی در روش همکاری متقابل غیر مستقیم قاعده مشابه با روش TFT در همکاری متقابل مستقیم داشته باشد. هیچیک از این دو استراتژی از نظر تکاملی پایدار نیستند ولی سادگی آنها و توان آنها برای تحلیل همکاری در شرایط متفاوت از نقاط قوت آنها محسوب میگردد. در نسخه‌های توسعه یافته همکاری متقابل غیر مستقیم که در آن فرد دهنده برخی اوقات دیگران را در مورد شهرت گیرنده فریب میدهند، روش ارزیابی نمره‌دهی مفهوم رک و راست "من به چیزی معتقد هستم که آنرا می‌بینم" را دارد. روش نمره‌دهی در مورد عمل قضاوت میکند و کاری به گذشته و تاریخچه ندارد. شواهد تجربی نشان میدهد که انسانها هم به جای تبعیت از روش استندینگ به روش نمره دهی متکی هستند.

در تکامل انسان تمایلی برای حرکت از همکاری‌های ساده ترغیب شده توسط انتخاب خویشاوندی یا گروهی به سمت باریک‌بینی‌های استراتژیک همکاری‌های متقابل مستقیم یا غیر

انتخاب گرافیکی

مدل سنتی دینامیک بازی تکامل فرض را بر این قرار میدهد که جمعیت به خوبی مخلوط شده است به این معنی که تعامل بین هر دو نفر مشخص یکسان است. مهم تر اینکه تعامل بین افراد از طریق اثرات فضایی و یا شبکه اجتماعی هدایت میشود. فرض کنیم که افراد یک جمعیت گره‌های یک شبکه گرافیکی را به خود اختصاص داده‌اند. در این صورت خطوط ارتباطی این شبکه به ما نشان میدهد که تعامل بین چه افرادی صورت گرفته است (تصویر ۵).

تصویر ۵- بازی در گرافها



مستقیم وجود دارد. همکاری متقابل مستقیم مستلزم شناخت دقیق افراد و وجود خاطره‌هایی از تعاملات مختلفی است که فرد در گذشته با آنها داشته است و در ضمن باید قدرت مغزی کافی وجود داشته باشد تا بازیهای مکرر چندگانه را به طور همزمان فرایند کند. در روش همکاری متقابل غیرمستقیم علاوه بر اینها لازم است که تعامل بین مردم نیز پایش شود و احتمالاً مقصد آنها در چنین تعاملاتی مورد قضاوت قرار گیرد و شبکه اجتماعی دائماً در حال تغییر گروه در نظر گرفته شود. اشتها بازیگران تنها توسط عمل خود آنها تعیین نمیشود بلکه ارتباط آنها با دیگران نیز مورد توجه قرار میگیرد. انتظار داریم که همکاری متقابل غیر مستقیم به طور همزمان با ظهور زبان انسان بوجود آمده است. از طرفی مفید است که برای دیگر افراد نامهایی داشته باشیم و در مورد چگونگی درک دیگران در مورد یک نفر اطلاعاتی بدست آوریم و از طرف دیگر چنانچه تعاملات اجتماعی پیچیده وجود داشته باشد، زبان پیچیده‌ای نیز مورد نیاز است. احتمال بازی‌هایی از نوع دستکاری، فریب، همکاری و عدم همکاری نامحدود است. احتمالاً همکاری متقابل غیر مستقیم سناریوی فوق‌العاده انتخابی را مهیا میکند که به توسعه مغزی تکامل انسان منجر شده است.

در این تصویر افراد جامعه گره‌های گراف (شبکه اجتماعی) را به خود اختصاص میدهند. خطوط ارتباط نشان‌دهنده تعامل بین آنها است. در این مثال رقابت همکاری‌کننده‌ها (C) و ردکننده‌ها (D) ارائه شده است. همکاری‌کننده هزینه C را برای هر خط ارتباطی دریافت میکند. هر یک از همسایه‌های هر فرد همکاری‌کننده، منفعت B را بدست می‌آورد. برآمدهای چند فرد در تصویر ارائه شده است. شایستگی هر فرد ثابت است و نشان‌دهنده شایستگی پایه بعلاوه برآمد بازی است. در دینامیک تکاملی فرض میکنیم که در هر دور بازی، یک بازیگر تصادفی برای مردن انتخاب شود و همسایه‌ها بسته به شایستگی خود به رقابت بر سر جایگاه خالی شده بپردازند. یک قانون ساده ایجاد میشود: اگر $b/C > k$ باشد در این صورت انتخاب یه نفع همکاری‌کننده‌ها خواهد بود. در اینجا k متوسط تعداد همسایه‌ها به ازای هر فرد میباشد. فرض کنیم که جمعیتی متشکل از N نفر از همکاری و ردکنندگان داریم. همکاری به تمامی افرادی که با آنها در تماس هستند کمک میکنند و هزینه C را میپردازند. اگر

یک همکاری کننده با K فرد دیگر تماس داشته باشد و I نفر آنها همکاری کننده باشند در این صورت برآمد او عبارت است از b_i CK - ردکنندگان هیچگونه کمکی نمی کنند و بنابراین هزینه نمیدهند ولی از مزایای همکاری همسایه‌های خود بهره میبرند. اگر رد کننده با K فرد تماس داشته باشد و J نفر آنها با وی همکاری کنند، در این صورت برآمد او b_j خواهد بود. دینامیک تکاملی توسط یک فرایند استوکاستیک بسیار ساده شرح داده میشود: در هر مقطع، یک فرد به طور تصادفی، استراتژی یکی از همسایه‌های خود را در رابطه با شایستگی آن قبول میکند. میدانیم که دینامیک بازی تکاملی استوکاستیک در یک جمعیت محدود به شدت انتخاب بسیار حساس است. به طور کلی موفقیت تولید مثلی (شایستگی) یک فرد به صورت یک عدد ثابت داده میشود که مشتمل بر شایستگی پایه بعلاوه برآمد حاصل از بازی مورد نظر است. سلکسیون قوی این معنی را دارد که برآمد در مقایسه با شایستگی پایه بزرگ است و سلکسیون ضعیف به این معنی است که برآمد در مقایسه با آن کوچک است. سلکسیون ضعیف نتایج جالبی را دارد که به ویژه در ژنتیک جمعیت به آن اشاره میشود. تئوری بازی تکاملی سنتی در جمعتهای مخلوط را میتوان توسط گراف نشان داد به طوری که همه گره‌ها به هم متصل میشوند به این معنی که تمامی افراد به یکسان در تعامل با یگدیگر هستند. در چنین شرایطی همکاری کنندگان همیشه در معرض خطر انتخاب طبیعی هستند. این مهمترین و اساسی ترین برداشت از تئوری بازی تکاملی کلاسیک میباشد. ولی در گرافهای دیگر چه اتفاقی می افتند؟ باید احتمال p_C را تعیین کرد یعنی احتمال اینکه یک همکاری کننده منفرد که در یک موقعیت تصادفی بازی را آغاز کرده است بتواند تمامی جمعیت را از ردکننده به همکاری کننده تغییر دهد. اگر سلکسیون نه به نفع و نه به ضرر همکاری باشد در این صورت این احتمال برابر $1/N$ است که معنی آن احتمال

انتخاب گروهی

طرفداری سفت و محکم از انتخاب گروهی برای توضیح تکامل رفتار همکاری مورد انتقاد شدید قرار گرفت و حتی برای چند دهه انتخاب گروهی مورد انکار قرار گرفت و تنها تعداد معدودی از دانشمندان در این زمینه به کار کردن ادامه دادند. اکنون میدانیم که انتخاب گروهی مکانیسم بسیار قوی در توسعه همکاری است. فقط لازم است بدانیم مقتضیات اساسی آن در شرایط خاصی برقرار میشود. اینکه این مقتضیات چه هستند با یک مدل ساده ارائه شده است. فرض کنید که یک جمعیت به گروه‌هایی تقسیم شده است. فرض کنیم که تعداد گروه‌ها ثابت و برابر M باشد و هر گروه بین 1 تا n نفر داشته باشد. تعداد کل افراد جمعیت بین M و nM خواهد بود. همچنین دو نوع افراد را داریم: همکاری کننده و ردکننده. افراد در گروه خود با

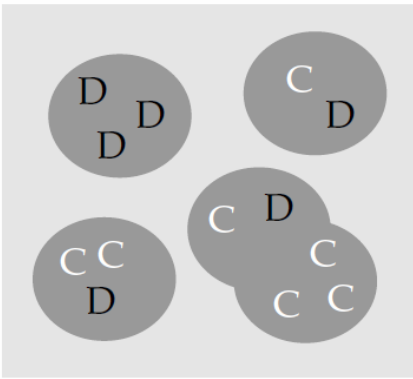
تثبیت یک موتانت طبیعی است. اگر احتمال تثبیت p_C بزرگتر از $1/N$ باشد، در این صورت سلکسیون به نفع ظهور همکاری عمل میکند. همچنین میتوان احتمال تثبیت ردکنندگان p_D را هم محاسبه کرد. یک قانده بسیار ساده تعیین میکند که آیا سلکسیون بر روی گراف به نفع همکاری است. اگر $b/c > k$ باشد (معادله ۴) همکاری کنندگان دارای احتمال تثبیت بیشتر از $1/N$ و ردکنندگان احتمال تثبیت کمتر از $1/N$ خواهند بود. بنابراین در مورد سلکسیون گرافی به نفع همکاری، نسبت فایده به هزینه یک عمل نوع دوستانه باید بیش از درجه متوسط k باشد که این درجه متوسط در واقع متوسط تعداد افرادی است که به هر فرد لینک میشوند. این رابطه را میتوان با استفاده از روش تخمین جفتی گراف‌های منظم نشان داد که در آن همه افراد تعداد همسایه مشابهی دارند. گرافهای منظم شامل چرخ‌ها، همه انواع شبکه‌های فضایی و گراف‌های منظم تصادفی میشوند. علاوه بر این مدل‌سازی‌های کامپیوتری دلالت بر آن دارد که قانده $b/c > k$ در مورد گراف‌های غیرمنظم همچون گرافهای تصادفی و شبکه‌های عاری از مقیاس نیز برقرار است. قانده آن مبتنی بر وجود سلکسیون ضعیف و $k \ll N$ میباشد. در مورد گراف کامل که $K=N$ است خواهیم داشت:

$$p_D > 1/N > p_C$$

مطالعات اولیه نشان دادند که معادله ۴ در مورد سلکسیون قوی هم کاربرد دارد. ایده اصلی این است که سلکسیون طبیعی بر روی گراف‌ها (در جمعتهای ساخت‌دار) میتواند به نفع همکاری‌های غیر مشروط باشد بدون اینکه نیازی به پیچیدگی‌های استراتژیکی، اشتها و یا انتخاب خویشاوندی باشد. بازی‌های روی گراف از سنتهای اولیه تئوری بازی تکاملی فضایی و تحقیقات مربوط به مدل‌های فضایی در اکولوژی و مدل‌های فضایی ژنتیک جمعیت بوجود آمد و رشد کرد.

همدیگر تعامل دارند و در نتیجه برآمد خود را دریافت میکنند. در هر مقطع زمانی یک فرد تصادفی از کل جمعیت به نسبت برآمد خود، برای تولید مثل انتخاب میشود. نتاج بوجود آمده به همان گروه اضافه میشوند. اگر اندازه گروه مساوی یا کوچکتر از n باشد، دیگر چیزی اتفاق نمی افتد. اگر اندازه گروه بیشتر از n باشد در این صورت به احتمال q ، گروه مزبور به دو دسته تقسیم میشود. در این مورد یک گروه تصادفی حذف میشود (به منظور حفظ اندازه ثابت گروه). احتمال اینکه گروه تقسیم نشود برابر $1-q$ است ولی در عوض یک فرد تصادفی از همان گروه حذف میگردد (تصویر ۶).

تصویر ۶ - مدل ساده انتخاب گروهی



توجه شود که در این تصویر یک جمعیت متشکل از m گروه داریم که حداکثر اندازه آن برابر n است. افراد هر گروه با دیگر اعضای همان گروه در یک متن بازی تکاملی به تعامل می‌پردازند. در اینجا بازی بین همکاری‌کننده‌ها را به صورت C و بازی بین ردکننده‌ها را به صورت D نشان می‌دهیم. از نظر تکثیر مثل، افراد از کل جمعیتی و بر اساس نسبت احتمال برآمد آنها انتخاب میگردند.

نتایج هم به همان گروه افزوده میشوند. اگر یک گروه به حداکثر اندازه n (یعنی n) برسد در این صورت جمعیت به دو گروه تقسیم و تجزیه میشود و یا افرادی به صورت تصادفی از آن گروه حذف میگردند. اگر یک گروه تجزیه شد در آن صورت یک گروه تصادفی از بین می‌رود تا اندازه کل جمعیت ثابت باقی بماند. این نوع ساختار جمعیت نوع متا (metapopulation) منجر به ظهور دو سطح انتخاب میشود اگر چه فقط افراد هستند که به تولید مثل می‌پردازند. این مدل حداقلی از انتخاب چند سطحی، دارای جنبه‌های جالب توجهی است. توجه شود که دینامیک تکاملی تماما توسط شایستگی افراد ایجاد میشود. برآمدها فقط در اختیار افراد گذاشته میشود. تنها افراد هستند که به تکثیر مثل می‌پردازند. گروه‌ها وقتی که به یک اندازه مشخص رسیدند، میتوانند با هم بمانند یا تجزیه شوند. گروه‌هایی که دارای افراد با شایستگی بیشتری هستند سریعتر به اندازه بحرانی رسیده و در نتیجه بیشتر تجزیه و تقسیم میشوند. این مفهوم به این معنی است که انتخاب فقط در گروه‌ها انجام میشود اگر چه تولید مثل در افراد صورت میگیرد. انتخاب سطح بالاتر، زمانی دیده میشود که سطح تولید مثل پایین‌تر باشد. بدیهی است که دو سطح انتخاب میتوانند متضاد هم باشند. مثل قبل میتوان احتمال تثبیت P_C و P_D را برای همکاری‌کنندگان و ردکنندگان محاسبه کرد و معلوم نمود که انتخاب به نفع یکی یا دیگری است. اگر یک همکاری‌کننده منفرد را به جمعیت ردکنندگان اضافه کنیم در این صورت این همکاری‌کننده باید کنترل یک گروه را بدست گیرد. به دنبال آن گروه همکاری‌کنندگان باید کنترل تمام جامعه را بدست گیرند. اولین مرحله در تضاد با سلکسیون است ولی مرحله دوم در جهت آن است. بنابراین لازم است به دنبال شرایطی باشیم که احتمال تثبیت کلی بزرگتر یا کوچکتر از آن چیزی است که میتوانیم توسط یک موتانت طبیعی انتظار داشته باشیم. یک محاسبه تحلیلی در حد $q < 1$ وجود دارد که در آن افراد سریع‌تر از آنچه که گروه‌ها تقسیم شوند به تکثیر مثل می‌پردازند. در این حالت اغلب گروه‌ها در حداکثر اندازه خود هستند و در نتیجه

اندازه کل جمعیت تقریباً ثابت میماند که برابر است با $N = nm$. متوجه شدیم که وقتی $b/c > 1 + n/(m-2)$ (رابطه $a2/5$) باشد در این صورت سلکسیون به نفع همکاری‌کننده‌ها و به ضرر ردکنندگان است یعنی $P_C > 1/N$. این نتیجه برای سلکسیون ضعیف صادق است. هر چه اندازه گروه‌ها کوچک‌تر و تعداد گروه‌های رقابت‌کننده بیشتر باشد، وضعیت به سمت همکاری پیش می‌رود. خاطر نشان

میشود که تعداد گروه‌ها (m)، باید بیشتر از ۲ باشد. یک دلیل ذاتی برای این حد آستانه وجود دارد. فرض کنید که $m=2$ گروه با $n=2$ فرد وجود دارد. در یک گروه مخلوط همکاری‌کننده دارای برآمد c و ردکننده برآمد b خواهد داشت. تفاوت ردکننده / قبول‌کننده برابر است با $b+c$. در یکی گروه همگن دو همکاری‌کننده دارای برآمد $b-c$ خواهند بود در حالی که دو ردکننده برآمد ۰ خواهند داشت. به همین دلیل عدم مزیت همکاری‌کنندگان در گروه‌های مخلوط به هیچ وجه توسط مزیت آنها در گروه‌های همگن جبران نمی‌شود. جالب اینکه در صورتی که احتمال تجزیه گروه‌ها (q) بیشتر شود، متوجه خواهیم شد که همکاری‌کنندگان زمانی نفع می‌برند که m برابر ۲ باشد. دلیل آن به شرح زیر است: برای هر q بسیار کوچک، همکاری‌کننده اولیه باید در گروه‌های مخلوط به مرحله تثبیت برسد ولی در صورتی که q بزرگتر باشد زمانی که یک گروه مخلوط تجزیه میشود یک گروه همکاری‌کننده همگن ظهور میکند و در نتیجه یک جمعیت دختر ایجاد میشود که همگی همکاری‌کننده هستند. به همین دلیل هر چه احتمال تجزیه بیشتر باشد، احتمال ایجاد گروه‌های همکاری‌کننده بیشتر میشود.

حال اگر اثر مهاجرت را نیز در نظر بگیریم چه میشود؟ متوسط تعداد مهاجرانی که توسط یک گروه در طول عمرشان پذیرفته میشود برابر Z است. سلکسیون فقط زمانی به نفع همکاری است که شرط $b/c > 1 + Z + n/m$ برقرار باشد. برای اینکه بتوان این شرایط را ایجاد کرد فرض بر این است که سلکسیون ضعیف باشد و همچون گذشته $q < 1$ باشد و لی همچنین تعداد گروه‌ها (m) و حداکثر اندازه گروه (n) بسیار بزرگتر از یک باشد. برای اطلاعات بیشتر میتوان به منبع (Traulsen and Nowak, 2006) مراجعه کرد.

انتخاب گروهی (یا انتخاب چند سطحی) مکانیسم قدرتمندی برای ظهور همکاری است به شرط اینکه تعداد زیادی از گروه‌های نسبتاً کوچک وجود داشته و همچنین مهاجرت بین گروه‌ها زیاد نباشد.

نتیجه‌گیری

پنج قاعده اصلی که در بالا به طور مشروح بیان شد و طبیعت از طریق انتخاب طبیعی برای همکاری به اداره آن میپردازد به خلاصه زیر است:
۱- انتخاب خویشاوندی زمانی به سمت همکاری می‌رود که $b/c > 1/r$ باشد که در آن r ضریب خویشاوندی ژنتیکی بین دهنده و گیرنده است.

۲- همکاری متقابل مستقیم زمانی به همکاری منجر می‌شود که $b/c > 1/w$ که در آن w احتمال بازی کردن دور بازی بعدی در معمای زندان تکراری است.

۳- همکاری متقابل غیر مستقیم زمانی به همکاری منجر می‌شود که $b/c > 1/q$ که در آن q احتمال دانستن اشتهار فرد گیرنده است.

۴- انتخاب گرافی (یا همکای متقابل شبکه‌ای) زمانی به همکاری منجر می‌شود که $b/c > k$ باشد که در آن k درجه گراف و به عبارتی متوسط تعداد همسایه‌ها است.

۵- انتخاب گروهی زمانی به همکاری منجر می‌شود که $b/c > 1+z+n/m$ که در آن z تعداد مهاجران است که توسط یک گروه در طول دوره زندگی آنها پذیرفته می‌شود و n اندازه گروه و m تعداد گروه‌ها است. در تمامی ۵ تئوری بالا، b منفعت برای گیرنده و c هزینه دهنده برای یک عمل نوع‌دوستانه است.

منابع و ارجاعات

- *Identity Theft Handbook: Detection and Prevention and Security*, Martin T. Biegelman, Wiley, 2009
- *Convex Analysis and Nonlinear Optimization: Theory and Examples*, Jonathan M. Borwein, Adrian S. Lewis, 2005
- *Podcasting for Dummies*, Tee Morris and others, For Dummies, 2005
- *Art of Intrusion*, Kevin Mitnick, Wiley, 2005
- *CIA Human Resource Exploitation Manual, Training Manual*, 1983
- *The Long Run - A Tale of the Continuing Time*, Daniel Keys Moran, Quiet Vision Pub, 2002
- *What Should be Hidden and Open in Computer Security - Lessons from Deception, the Art of War, Law, and Economic Theory*, Peter P. Swire, (draft publishing), 2001
- *Information Warfare: Cyberterrorism: Protecting Your Personal Security in the Electronic Age*, Winn Schwartau, Thunder's Mouth Press, 1996
- *Beyond Fear: Thinking Sensibly About Security in an Uncertain World*, Bruce Schneier, Springer, 2003
- *Cyber Terrorism and Information Warfare: Threats and Responses*, Yonah Alexander, Transactional, 2001

- سعید بیکی