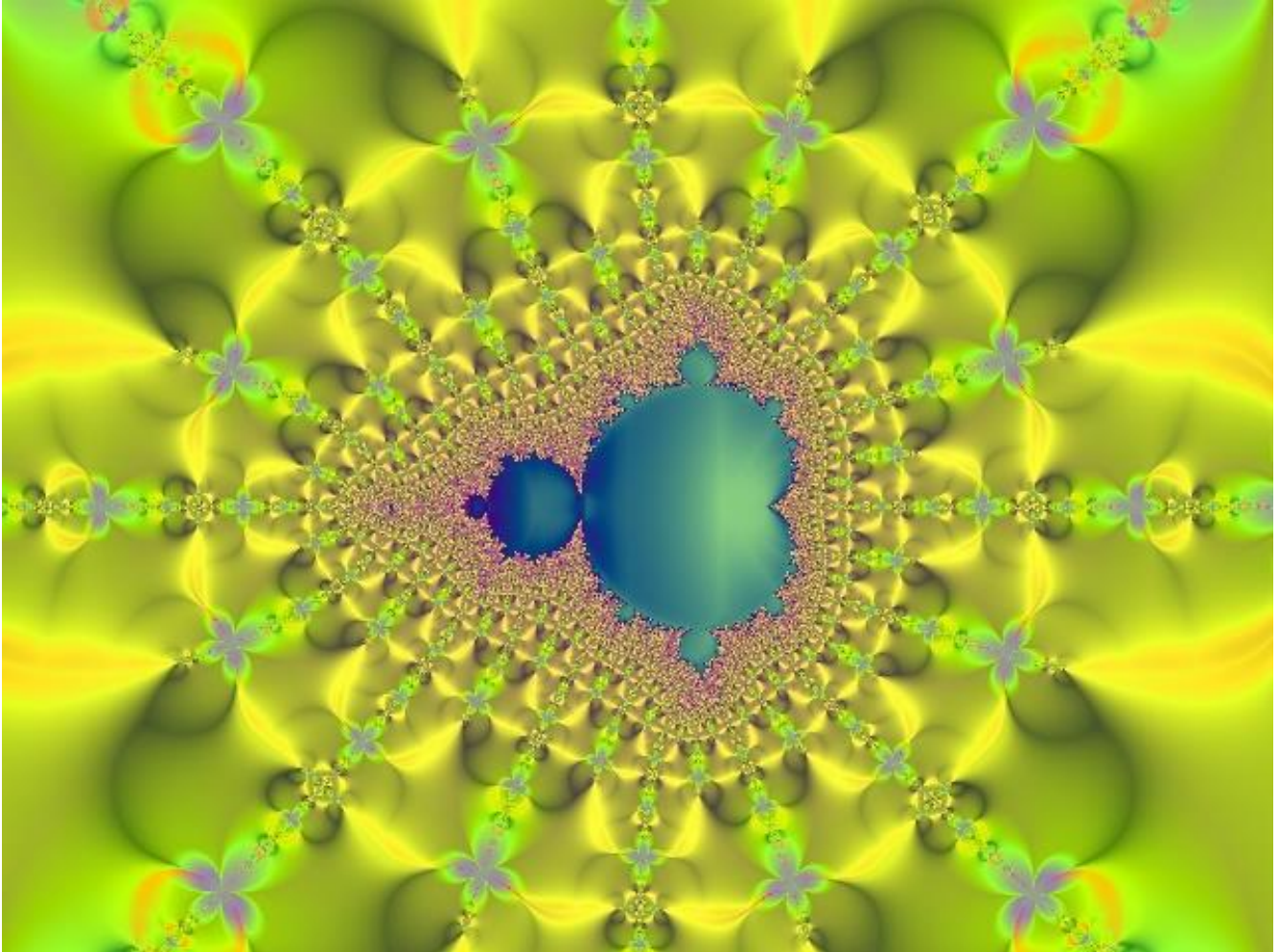


رساله می تقارن



شروین وکیلی

۱۳۷۶/۱/۱

توضیح و سپاس: این متن، نخستین و قدیمی‌ترین رساله از مجموعه‌ایست که بعدها خردنامه نام گرفت. ساختار ادبی نپرداخته و گاه ناپخته‌ی آن، تا حدودی به این قدیمی بودن باز می‌گردد. بخش مهمی از آرا و اندیشه‌هایی که به نوشته شدن این متن انجامید، در جریان بحثهایی که در سالهای آغازین دهه‌ی هفتاد خورشیدی با دوستانم در انجمن دانش داشتیم، شکل گرفت. از آنجا که مفهوم تقارن بعدها در آرای نگارنده جایگاهی مرکزی یافت، در همین جا ضروری می‌دانم از دوستی که امیدوارم نسخه شخصی خویش از مفهوم تقارن را با جدیت دنبال کرده باشد، یعنی دکتر علیرضا توانفر یاد کنم و سپاسگزار بحث و جدل‌های بارآورش در آن سالهای دوردست باشم.

بخش نخست: تقارن

مفاهیم بنیادی

تقارن، مفهومی است که با وجود آشنا بودن، به تعریف نیاز دارد. یکی از مهمترین تعاریف ارائه شده درباره‌ی این واژه، عبارت است از تغییرناپذیری در برابر تبدیلات. این عبارت که در نظریه‌ی ریاضی گروه‌ها ریشه دارد، بهترین و دقیق‌ترین تعریف را در این باره به دست می‌دهد. بر همین مبنا، ما هم در اینجا تقارن را به این شکل تعریف می‌کنیم:

در صورتی که سیستمی، زیر اثر تبدیل خاصی قرار گیرد، و نسبت به محور مشخصی تغییر محسوس نشان ندهد، آن سیستم، نسبت به آن محور، زیر اثر آن تبدیل، متقارن است.

در این تعریف، چند واژه‌ی کلیدی وجود دارد که باید به نوبه‌ی خود دقیق‌تر بیان شود. نخست آنکه تقارن تنها در مورد سیستم و چیزی مشخص و معلوم معنا دارد. به بیان دیگر، مفهوم تقارن، تنها بر محمولات مادی - به معنای وسیع کلمه - تکیه می‌کند. بدون اینکه چیزی مشخص را، با حد و مرز معلوم و خواص تعریف شده، در نظر بگیریم، نمی‌توانیم مدلولی برای تقارن فرض کنیم.

دومین واژه‌ی تعریف ما، به تبدیل بر می‌گردد. تبدیل عبارت است از هر نوع حرکت خاصی که قابل مشاهده باشد. معمولاً مراد از این واژه، تبدیلات فضایی ریاضی و هندسی است. هرچند منطقی‌تر این است که تغییرات را در نظر گرفت. نکته‌ی دیگر در این تعریف، اشاره به محور، و محسوس بودن تغییرات است. باید به این نکته توجه کرد که این مفهوم هم مانند همه‌ی مفاهیم دیگری که توسط ذهن ما آفریده می‌شوند، به شدت به مشاهده‌گر وابسته‌اند. یعنی محور

مورد نظر ما، یک قرارداد تحمیل شده از سوی ناظر است، و این مطلب هم که تغییر مورد نظر تا چه اندازه نامحسوس باشد، باز به شاهد برمی‌گردد. این ذهنی‌گری، به معنای نفی اهمیت عینی تقارن نیست. تنها می‌خواهم به این امر اشاره کنم که در اینجا هم مثل همه‌ی جاهای دیگر، با مفهومی مطلق و جدا از ذهن سروکار نداریم.

همه‌ی مردم معنایی شهودی از تقارن را در ذهن دارند. یکی از عناصرا مهم زیبایی‌شناختی در انسان، تقارن است، و در این‌باره در هنر و فلسفه‌ی زیبایی‌شناسی بسیار سخن رفته است. با وجود آشنا بودن این مفهوم، برخورد دقیق و علمی با آن پیشینه‌ی چندانی ندارد. مفهوم علمی تقارن، برای نخستین بار توسط بلورشناسان مورد توجه قرار گرفت. ساختار منظم و متقارن بلورها، نیازمند نظامی از تجزیه و تحلیل بود، که با مفهوم تقارن و تعریف آن پیوستگی فراوان داشت. آنان، تقارن را به شکلی نه‌چندان دقیق، به عنوان حرکتی بی‌اثر بر یک سیستم، که فواصل بین اجزای آن را تغییر ندهد تعریف کردند. به وسیله‌ی همین تعریف بود که بلورشناسان، و بویژه کسانی که در زمینه‌ی کریستالوگرافی کار می‌کردند، توانستند با توجه به پیکره‌ی منظم بلورها، سه شکل از تقارن را تشخیص دهند:

نخستین حالت، تقارن بازتابی نام گرفت، و به حالتی همتای تقارن آینه‌ای اطلاق می‌شد. این مفهوم بعدها با تعریف فیزیکی تقارن در جهت پیوند خورد و در فیزیک ذرات بنیادی مورد استفاده قرار گرفت.

دومین شکل، تقارن در چرخش بود که کمابیش با تقارن مرکزی هندسه‌ی اقلیدسی یکسان بود. چنین تقارنی به اشکالی شبیه به دانه‌ی برف و گل‌ها نسبت داده می‌شد.

سومین نوع، تقارن در انتقال بود که بر تغییر ناپذیری زیر اثر عمل تغییر ابعاد طول دلالت می‌کرد. این مفهوم هم بعدها در معنای فیزیکی تقارن جهات مورد استفاده قرار گرفت.

در بحث ما دو جنبه از تقارن اهمیت دارد. نخست جنبه‌ی بیشتر نظری آن، و دیگری بُعد پدیدار شناختی و محسوسش. برای پرداختن به این دو مفهوم، ابتدا تعاریف موجود درباره‌ی تقارن را -در شاخه‌های مطرح در این مورد،- مرور خواهیم کرد. و به طور جداگانه به مفاهیم جنبی مربوط به آن، -مثل شکست تقارن و پادتقارن- اشاره خواهیم کرد. بعد از دست یافتن به مفهوم کلی محکمی در این باره، به ترتیب از ابعاد خرد به کلان پیش خواهیم رفت، و پدیده‌ی تقارن را در نمودهای مادی‌اش بررسی خواهیم کرد.

مفهوم ریاضی تقارن

قدیمی‌ترین تعاریفی که از تقارن وجود دارند، تعاریف ریاضیدانان جهان کهن هستند. این تعاریف، که بیشتر در قلمرو هندسه‌ی اقلیدسی کاربرد دارند، سه نوع مشخص از تقارن را در نظر می‌گرفتند: تقارن مرکزی یا نقطه‌ای، تقارن خطی یا محوری، و تقارن چرخشی. تقارن مرکزی، به این شکل تعریف می‌شود. اگر در شکلی هندسی، بتوان نقطه‌ای یافت که هر جزء (یا نقطه) از شکل در یک طرف این نقطه، جزء (یا نقطه‌ای) با فاصله و خواص مشابه را در طرف دیگر هم داشته باشد، آنگاه این شکل نسبت به آن نقطه دارای تقارن مرکزی خواهد بود. نمونه‌ی آشنای مصداق این تعریف، دایره است که نسبت به مرکزش دارای تقارن مرکزی است. تقارن محوری، تعریفی مشابه دارد، با این تفاوت که به جای یک نقطه‌ی مرکزی، یک خط به عنوان مرجع تقارن مورد توجه قرار می‌گیرد. در اینجا هم مشابه بودن خواص نقاط دو طرف این خط، وجود تقارن محوری را نتیجه می‌دهد. مثال معمول در این مورد، لوزی است، که نسبت به اقطار خود تقارن محوری دارد. مستطیل هم نسبت به خطهای متصل‌کننده‌ی وسط اضلاع مقابلش، به هم چنین حالتی دارد. تقارن چرخشی، با حرکت شکل در فضا و همتابودن نقاط متناظر نسبت به یک صفحه تعریف می‌شود. نمونه‌ای از این تقارن، حالتی است که در مورد تصویر آینه‌ای یک چیز و خودش مشاهده می‌شود. این تعاریف ابتدایی و محدود از تقارن برای مدتها، تنها مرجع علاقمندان به این قضیه بود. تا اینکه فیزیک و ریاضیات نوین، تعاریفی جدید و جنبه‌هایی نو را به این مبانی افزودند.

اگر همین معنای ساده‌ی تقارن را تعمیم دهیم، به نتایج جالبی می‌رسیم. در یک صفحه‌ی اقلیدسی، متقارن‌ترین چیزی که وجود دارد، یک نقطه است. یک نقطه نسبت به هیچ تبدیل هندسی‌ای، تغییر نمی‌کند، پس به این ترتیب بدون اینکه به مرجعی نیاز داشته باشد، متقارن است.

اگر از نقطه بگذریم، همه‌ی اشکال اقلیدسی دیگر، اگر متقارن باشند، به مرجعی نیاز دارند. این مرجع، چنانکه دیدیم، بنا بر تعریف می‌تواند یک نقطه، یک خط، و یا یک صفحه باشد. به بیان دیگر، حتی اگر بخواهیم از وجود تقارن در دو نقطه صحبت کنیم، مجبوریم معنای خط را به عنوان یک عنصر بنیادی وارد قضیه کنیم. گذشته از تقارن خودکفای نقطه‌ی یکتا، ساده‌ترین تقارن وابسته به مرجع، به خط منحصر می‌شود. چون نقطه‌ی متقارن هر نقطه از یک خط راست نامتناهی، با توجه به هر مرجعی که خود عضوی از آن خط باشد، روی آن خط خواهد افتاد. یعنی در یک خط راست، هر کجا را که به عنوان نقطه‌ی مرجع در نظر بگیریم، می‌بینیم که همه‌ی نقاط دیگر خط، نسبت به آن متقارن هستند.

همین معنا را می‌توان به نظریه اعداد هم بسط داد. در آنجا هم مجموعه مشهوری مثل اعداد حقیقی را می‌توان یک شبه‌خط متقارن در نظر گرفت. در آنجا هم هریک از اعداد مجموعه را که به عنوان مرجع فرض کنیم، همه‌ی اعضای دیگر مجموعه عدد متقارن خود را نسبت به آن مرجع در درون مجموعه خواهند یافت. می‌توان آنچه را که درباره‌ی منزلت نقطه در هندسه‌ی اقلیدسی گفتیم، در اینجا هم تکرار کنیم. اگر مجموعه‌ای که دارای تقارن است، متناهی باشد، آنوقت عدد متقارن با عضو اول آن نسبت به عضو آخرش، عضو مجموعه نخواهد بود، و به این ترتیب تعریف تقارن در مجموعه‌ها نقض می‌شود. پس می‌توان ثابت کرد که تنها مجموعه‌ی متقارن متناهی، تنها باید دارای یک عضو باشد. چنین مجموعه‌ای طبعاً به مرجع نیاز نخواهد داشت، و همواره متقارن خواهد بود. بر مبنای همین تعریف تقارن در مجموعه‌ی اعداد حقیقی، می‌توانیم مفهومی جدید را هم ایجاد کنیم. اگر چنین فرض کنیم که نقطه‌ی A که عضوی از یک مجموعه‌ی دلخواه X است - مرجع تقارن در نظر گرفته شود، می‌توان فاصله‌ای مانند R را به شکلی تعریف کرد که مرکز این فاصله خود A باشد، و این فاصله هم زیرمجموعه‌ای از X باشد. در این حالت، اگر نقطه‌ی دلخواه N

که عضو X است، عضو R هم باشد، می‌گوییم در این فاصله تقارن در X وجود دارد. اگر متقارن N نسبت به A هم عضو X باشد، آنگاه مجموعه‌ی X در فاصله‌ی R دارای تقارن موضعی است. اگر همه‌ی نقاط مجموعه‌ی X دارای تقارن موضعی باشند، آنگاه مجموعه X دارای تقارن موضعی خواهد بود. یعنی اگر فواصل دارای خاصیت مشابه R همه‌ی نقاط X را بپوشانند، کل مجموعه دارای تقارن موضعی خواهد بود. همه‌ی آنچه که درباره‌ی مفهوم تقارن مورد بحث قرار گرفت، می‌تواند در تقابل با تقارن موضعی، با اصطلاح تقارن کلی تعریف شود. روشن است که هر مجموعه‌ی دارای تقارن کلی دارای تقارن موضعی هم خواهد بود، ولی عکس این مطلب، صادق نیست. مثلاً یک مجموعه‌ی متناهی، چنانکه گفتیم، نمی‌تواند دارای تقارن کلی باشد، ولی می‌تواند به طور موضعی متقارن باشد.

در همین مقطع، می‌توان معنایی دیگر را هم تعریف کرد، و آن هم رابطه‌ی پادتقارنی است. از آنجا که این پدیده ربط چندانی به بحث مورد نظر من ندارد، در اینجا تنها اشاره‌ای کوتاه به آن می‌کنم. همه‌ی ما به طور شهودی چنین می‌پنداریم که تقارن، معنایی هم‌ارز با نظم دارد. به این معنی که اشیای دارای تقارن، (مثل بلورها، موجودات زنده، و اشیای مصنوعی) همه دارای نظمی فراتر از سایر اشیای محیط خود هستند. پس باز به طور شهودی می‌توان چنین حس کرد که اگر همه‌ی تعاریف تقارن را برعکس کنیم، باید به چیزی خیلی شبیه به بی‌نظمی برسیم. می‌توان نشان داد که این شهود، نادرست است.

چنانکه گفتیم، اگر در مجموعه‌ی X عضو متقارن هر عنصری از مجموعه، نسبت به هر نقطه‌ای در داخل آن، داخل مجموعه باشد، آن مجموعه متقارن است. اگر عضوی وجود داشته باشد، به طوری که متقارن آن نسبت به مرکزی داخل X عضو X نباشد، آنگاه می‌گوییم X نامتقارن است.

چنانکه می بینید، مفهوم نامتقارن بودن با برعکس کردن تعریف تقارن حاصل نشده، بلکه تنها از نقض آن پدید آمده است. اگر تعریف مورد بحث را برعکس کنیم، به این جمله می رسیم:

اگر همهی نقاط عضو X نسبت به هر مرکزی در درون آن، نقطه متقارنی داشته باشند که درون X نباشد، آنگاه X دارای خاصیت پادتقارن است. یعنی در این تعریف، در مورد هیچ نقطه‌ای با هیچ مرکزی، نباید تقارن موضعی مشاهده شود. دقیقاً به همان شکلی که مفهوم تقارن موضعی را تعریف کردیم، می توانیم پادتقارن موضعی را هم تعریف کنیم و به این ترتیب به ساختاری معنایی موازی‌ای با تقارن برسیم. باید توجه کرد که به این شکل، تعریف نامتقارن بودن و پادتقارن بودن، با هم تفاوت می‌کند. نامتقارن بودن، به سادگی عبارت است از عدم وجود پدیده‌ی تقارن، و پادتقارن. می توان مجموعه‌هایی فراوان را ساخت که دارای تقارن، پادتقارن، و یا عدم تقارن موضعی و کلی باشند. مثلاً مجموعه اعداد اول، به طور موضعی بی تقارن است، یعنی متقارن نقطه 2 نسبت به $3=4$ را در خود ندارد. می توان نشان داد که تقارن، و پادتقارن دارای زیرساخت معنایی هم‌ارزی هستند.

مفهوم تقارن در ریاضی با مفهوم گروه هم نزدیکی دارد. گروه، چنانکه می دانیم، مجموعه‌ای است که با توجه به دو عمل جابجایی و شرکت‌پذیری بسته باشد. تقارن را به عنوان عملی بریک گروه ریاضی تعریف می‌کنند، به شکلی که اعمال آن عمل بر گروه مورد نظر، ریخت گروه را دگرگون نکند. در کل هفده گروه ریاضی در ریاضیات شناخته شده‌اند. نظریه‌ی تقارن در گروه‌ها، در نهایت به استفاده از تقارن در فیزیک می‌انجامد. یعنی آنچه که به عنوان مفهوم فیزیکی تقارن مورد اشاره قرار گرفته، در واقع بسط مفهوم تقارن در گروه‌هاست. چنانکه می‌دانیم، هانری پوانکاره یکی از نخستین افرادی بود که به فضا خواص گروهی نسبت داد و کوشید در این گروه فیزیکی

تبدیلات ناوردا را پیدا کند. در نهایت هم بسط همین تلاشها توسط انشتین بود که به نظریه‌ی نسبیت انجامید.

مفهوم فیزیکی تقارن

یکی از مهمترین جنبه‌های برخورد علمی با تقارن را می‌توان در فیزیک یافت. مفهوم تقارن در فیزیک، با مفهوم ناوردایی¹ در ریاضیات نزدیکی زیادی دارد. ناوردایی، عبارت است از صادق بودن یک برابری، در دو دستگاه مختلف ریاضی. اگر در یک دستگاه ریاضی، معادله‌ای خاص صادق کند و پس از انجام یکی تبدیل بر آن دستگاه، و ایجاد دستگاهی دیگر، باز هم صادق آن معادله در شرایط جدید پابرجا بماند، آنگاه آن معادله در دو دستگاه ناوردا خواهد بود. مثلاً معادله‌ی [$A+B+C=180$] که در هندسه‌ی اقلیدسی در مورد همه‌ی مثلث‌های موجود صادق می‌کند، در دستگاه هندسه‌ی لوباجوفسکی صحت خود را از دست می‌دهد. به این ترتیب این معادله در دستگاه لوباجوفسکی نسبت به دستگاه اقلیدسی ناوردا نیست. در مقابل رابطه‌ی [$A+B=B+A$] که جابجایی در جمع را بیان می‌کند در هر دو دستگاه نامبرده صادق است و به این شکل ناوردا می‌باشد. در فیزیک همین مفهوم را در معنایی محسوس‌تر و کمتر انتزاعی می‌بینیم. یکی از مشهورترین نمونه‌های موجود، تبدیلی است که به نام ابداع‌کننده‌اش، تبدیل لورنتز نام گرفته. این مفهوم، عبارت است از Lorentz مجموعه‌ی ساده‌ترین تبدیلاتی که یک دستگاه مختصات چهار بعدی را به دستگاهی دیگر تبدیل می‌کنند، و با این وجود، اصل ثابت بودن سرعت نور را خدشه‌دار

¹ Invariance

نمی‌کنند. می‌دانیم که در فیزیک نوین، -و به ویژه در نسبیت- یکی از پیش فرض های اساسی، ثابت بودن سرعت نور است. تبدیل لورنتز، تبدیلی است که اگر بر دستگاه مختصاتی مثل (X,Y,Z,T) ² که دارای سرعت نور ثابت است-اعمال شود، دستگاهی مانند (x,y,z,t) را نتیجه دهد، که در آن هم سرعت نور ثابت باشد. یعنی در دستگاه نخست معادله‌ی $C_2\Delta T_2=0-\Delta X_2+\Delta Y_2+\Delta Z_2$ و در دستگاه دوم $\Delta x_2+\Delta y_2+\Delta z_2-C_2\Delta t_2=0$ صدق نماید.

بنابراین می‌توان با استفاده از تبدیل لورنتز، مبنایی محکم برای تقارن در دستگاه‌های دارای هویت ریاضی-فیزیکی قائل شد. در فیزیک نوین، تقارن را در بیشتر جاهایی که ناوردایی وجود دارد، می‌توانیم ببینیم. مهمترین تقارن‌ها در فیزیک عبارتند از:

1) تقارن در حرکت: که با ناوردایی معادلات حرکت³، در نزد شاهد‌های دارای دستگاه‌های مشاهده‌ی گوناگون بیان می‌شود. ریشه‌های این نوع تقارن را در کارهای گالیله، و مثال مشهورش می‌توانیم ببینیم. بنابر این مثال، مردی که در کالسکه‌ای متحرک نشسته، حرکت مگسی را که در اطرافش پرواز می‌کند با همان معادلاتی بیان خواهد کرد که یک ناظر ساکن بر روی زمین این کار را برای یک مگس ساکن بر زمین انجام می‌دهد. این تقارن، به سادگی بیان می‌کند که معادلات محاسبه شده برای حرکت، در دستگاه‌هایی با سرعت متفاوت نسبت به هم، یکسان خواهند بود. تقارن نهفته در ناوردایی حرکت، در فیزیک نوین به عنوان سنگ بنای نظریه نسبیت خاص جایگاهی ویژه یافته است. چنان که گفتیم. نظریه‌ی نسبیت عام بر مبنای دو پیش فرض بنا شده، نخست ثابت بودن سرعت نور، و دوم ناوردا بودن قوانین فیزیک مربوط به حرکت، در دستگاه‌های مختلف. به این ترتیب، این فرض که شاهد‌های گوناگون در دستگاه‌های گوناگون قوانین یکسانی

² که در آن، X, Y, Z و Z نمایشگر محور درازا، پهنا، و بلندا، و t نمایشگر محور زمان است.

³ Motion invariance

برای حرکت به دست خواهند آورد، در نهایت تقارن در حرکت را نسبت به این دستگاه‌ها بیان می‌کند. این مفهوم، مبنای یک خاصیت مهم علم است. این ویژگی که می‌توان زایش پذیری⁴ نامیدش، توانایی علم است برای تعمیم نتایج آزمایشاتی که در شرایط زمانی-مکانی خاصی انجام شده‌اند، به شرایط زمانی-مکانی دیگر. یعنی در فیزیک، این پیش‌فرض صحیح فرض می‌شود که اگر یک آزمایش را در مختصات زمانی-مکانی خاصی انجام دهیم. و بعد در زمان و مکان دیگری آن را تکرار کنیم، به همان نتایجی خواهیم رسید که بار اول رسیدیم. می‌توان در این مورد چنین گفت که جفت آزمایش‌های مختلف، نسبت به مرجع محور زمان-مکان، دارای تقارن هستند.

(2) تقارن در جهت: این مفهوم هم مثل مورد پیش، چنین بیان می‌کند که در صورت عوض کردن جهت همه‌ی محورهای یک دستگاه فیزیکی، قوانین موجود در آنها همواره ثابت خواهند بود. یعنی اگر دستگاه (x,y,z,t) را به دستگاه $(x,-y,-z,-t)$ تبدیل کنیم، قوانین اصلی فیزیک باید ناوردا باقی بمانند. این اصل، در نهایت در فیزیک ذرات بنیادی، یکی از مبانی تعریف ماده و ضد ماده را تشکیل می‌دهد.

(3) تقارن در مقیاس⁵: این مفهوم، که خیلی هم جالب است، در اصل از هندسه‌ی برخالها⁶ ناشی شده است. یک سیستم در صورتی که خواصش با تغییر کردن مقیاسها و اندازه‌ی مقطع مورد مشاهده، ثابت بماند، دارای تقارن در مقیاس است. این پدیده را در برخالها، به خوبی می‌توان دید. وجود پدیده‌ی خودهمانندی⁷ در اشکال برخالی، به این معناست که با بزرگ یا کوچک کردن

⁴ reproducibility

⁵ Scale parity

⁶ Fractal geometry

⁷ Self-similarity

مقیاس مورد مشاهده، الگوهای قابل مشاهده تغییری نمی‌کنند. چنین امری را تا حدودی می‌توان در پدیده‌های طبیعی برخالی هم دید. مثلاً یک ابر یا یک درخت، که ساختاری از این دست را دارند، صرف نظر از مقیاس مورد مشاهده، -البته در دامنه‌ای خاص- الگوهای مشابه را به نمایش می‌گذارند. مهم نیست که شما یک ابر کومولوس را از دور ببینید، یا تکه‌ای از آن را از نزدیک، آنچه که مهم است این است که همواره ساختار گل کلمی آشنای آن ابر را خواهید دید. نمایش انتزاعی‌تر، و بنابراین دقیقتر این موضوع را می‌توان در برخال مشهوری مثل مجموعه‌ی ماندلبرو⁸ دید. در این برخال، اگر با بزرگنمایی خیلی زیاد به کناره‌های مجموعه بنگریم، مجموعه‌های ماندلبروی کامل دیگری را در آنها خواهیم دید که خودمجموعه‌هایی بیشتر را در دل خود دارند. یعنی شما می‌توانید با بزرگ کردن متناوب بخش‌های مشخصی از این مجموعه، بی‌نهایت مجموعه‌ی ماندلبرو را در مقیاس‌های مختلف ببینید. این همان مفهوم تقارن در مقیاس است.

چند نکته‌ی جالب در مورد تقارن‌های فیزیکی وجود دارد. شاید مهمترین ویژگی تقارن در این سطوح، دقت ریاضی‌وار آن باشد. خواهیم دید که با بالا رفتن از نردبان پیچیدگی و اندازه، این مفاهیم هم به تدریج دقت خود را از دست می‌دهند. آنچه که مهم است، این است که در همه‌جا می‌توان تقارن‌هایی را که در سطوح فیزیکی تعریف شده‌اند، باز شناخت. این تعاریف و دسته‌بندی، حالتی عام دارند و از این نظر هم مفیدند. هرچند در سیستم‌های پیچیده، مرز مشخصی بین برخی از آنها نمی‌توان قائل شد، ولی این امر از اهمیتشان به عنوان ابزاری مفهومی نمی‌کاهد.

⁸ Mandelbrot

مفهوم زیستی تقارن

در زیست‌شناسی هم، از دیرباز مفهوم تقارن شناخته شده بوده. مشاهده‌گران جهان کهن، با دید پیش‌علمی خود، توانسته بودند وجود برخی از تقارن‌های مشهور را دریابند. تقارن‌های معمول در هندسه اقلیدسی در ساختار کالبد شناختی موجودات زنده به فراوانی دیده می‌شوند. شواهد به خوبی این نظریه را تایید می‌کنند که تقارن، از ویژگی‌های بنیادی سیستم‌های زنده است. با توجه به دید صرفاً ماکروسکوپی زیست‌شناسان قدیمی‌تر، این نحوه‌ی برخورد با قضیه، چندان هم عجیب نبود. حتی هنوز هم پدیده‌ی تقارن، و عام بودن ظاهری آن، می‌تواند باعث شگفتی یک زیست‌شناس کنجکاو شود.

نخستین چیزی که به گمان من باید یک جانورشناس را به تعجب اندازد، شباهت زیاد بین موجودات گوناگون روی سیاره‌ی ماست. در میان این انبوه گونه‌های مختلف، و اشکال متنوعی که به خود می‌گیرند، بعضی ویژگی‌ها وجود دارد که در همه کمابیش دیده می‌شود. یکی از جالبترین این ویژگی‌ها، تقارن است. در ابعاد ماکروسکوپی، همه‌ی موجودات زنده، به نوعی دارای تقارن هستند، و یا دست‌کم در مرحله‌ای از زندگی خود این خاصیت را از خود نشان می‌دهند. از آنجا که در این بخش تنها به نمونه‌های متقارن اشاره خواهیم کرد، به موارد دارای تقارن شکسته شده، نمی‌پردازم، و مجالی دیگر را برای بیان آن مفهوم مورد استفاده قرار می‌دهم.

تقارن در سیستم‌های زنده به چهار شکل دیده می‌شود:

نخست: تقارن مرکزی

این مفهوم، برگرفته از مفهوم اقلیدسی تقارن مرکزی است. ولی در بیشتر موارد با نوعی سهل‌انگاری به کار می‌رود. در صورتی که بتوانیم برای یک موجود زنده، یک مرکز تقارن در نظر بگیریم، به شکلی که اندامهای مهم بدن موجود، در اطراف این مرکز به شکل حلقوی قرار گرفته باشند، آنگاه می‌گوییم آن موجود دارای تقارن مرکزی است. می‌بینید که در اینجا، الزام ریاضی وجود تقارن به ازای هر نقطه از سیستم، صادق نیست. مثلاً یک ستاره‌ی دریایی که پنج بازو دارد، دارای تقارن مرکزی است، ولی بخشهایی را هم در بر می‌گیرند که ما به ازای تقارنی شان جزئی از بدن نیستند. به این معنی می‌توان گفت که تعریف تقارن‌ها به طور کلی، در زیست‌شناسی انعطاف‌پذیرتر از ریاضی است. در اینجا مروری خواهیم داشت بر مهمترین گروه‌های دارای این نوع تقارن.

الف) ویروسها

در گروه‌بزرگی از جانداران می‌توان تقارن مرکزی را دید. می‌توان این پدیده را در ساده‌ترین موجودات زنده، یعنی ویروسها، به خوبی نشان داد. می‌دانیم که ویروس‌های معمولی از یک هسته‌ی اسیدنوکلئیکی و یک پوسته‌ی پروتئینی به نام کپسید^۹ تشکیل یافته‌اند. این پوسته می‌تواند اشکالی گوناگون به خود بگیرد. شایعترین شکلی که در این پوسته‌ها می‌بینیم، نوعی بیست وجهی منتظم است که در ریاضیات آن را Icosahedral می‌نامند. این شکل در گروه بزرگی از ویروسها دیده

^۹ Capsid

می شود. ویروسهایی که این شکل را دارند، ممکن است دارای یک غشای خارجی از جنس چربی باشند، یا نباشند. این غشا، اگر حضور داشته باشد، می تواند در برابر تغییر شرایط محیطی تغییر شکل دهد و بنابراین شکل مشخصی ندارد. با این همه، شکل بیست وجهی کپسیدی که در درون آن پنهان شده، همواره ثابت می ماند. کپسومر این ویروسها می تواند دو شکل داشته باشد. در زوایای شش گوشه¹⁰، این واحدها را هگزوپروتومر¹¹، و در زوایای پنج گوشه، آنها را پنتوپروتومر¹² می نامند. کوچکترین ویروسی که دارای چنین شکلی است، تنها 12 پنتون¹³ دارد. بزرگترین نمونه دارای 12 پنتون و 20 هگزون است (شلگل، 1367).

مادهی وراثتی این ویروسها می تواند RNA یا DNA باشد، و در ضمن هر یک از این اشکال هم می توانند به صورت تک رشته ای یا دو رشته ای دیده شوند.

به عنوان نمونه ای از ویروسهای دارای تقارن مرکزی، می توان از آدنوویروسها نام برد. برای روشن تر شدن ساختار ویروسهای مورد بحث، کمی دقیقتر به ریخت این نمونه می پردازم. آدنو ویروسها دارای ماده وراثتی DNA دورشته ای هستند و حدود 60-100 نانومتر قطر دارند. این ویروس در پوشش پروتئینی خود دارای بیست وجه سه ضلعی است، که در کل 252 واحد پروتئینی را در بر می گیرد. هر واحد مزبور را یک کپسومر¹⁴ می نامند. در دوازده نقطه ای متقارن از این پوشش، پنتوکپسومرهایی رامی توان دید که دارای زائدهی رشته مانندی هستند که ویروس را به یاخته ای میزبان متصل می کند. این شکل بیست وجهی، با هروجه تشکیل یافته از سطوح سه گوشه، در میان همه ی ویروسهای دارای ساختار مشابه مشترک است (صائبی، 1364).

¹⁰ Hexon

¹¹ Hexaprotomere

¹² Pantoprotomere

¹³ Panton

¹⁴ Capsomere

ب) پروکاریوت‌ها

اگر یک سطح از ویروسها بالاتر برویم، به باکتری‌ها می‌رسیم. موجودات پروکاریوت باکتریایی، ساختاری بسیار ساده دارند و می‌توان در بخش مهمی از آنها، تقارن مرکزی را دید. در کل وابستگان به گروه کوکسی‌ها^{۱۵} اشکال ساده‌ی کروی دیده می‌شود که به طور مشخص تقارن مرکزی دارند. در میان کوکسی‌ها، نمونه‌های گرم منفی که به شکل منوکوک دیده می‌شوند، کاملاً در این تعریف ما می‌گنجند. در میان موجودات ساده‌ی پروکاریوت، تقارن مرکزی را بسیار کمتر از تقارن محوری می‌بینیم، به همین دلیل هم تنها مثالهای مهمی که می‌توانیم در این مورد بزنیم، به کوکوس‌ها منحصر است.

ب) آغازیان

در میان یوکاریوتها، تقارن به شکلی متفاوت دیده می‌شود. در میان آغازیان جانوری، انواع متنوعی از موجودات دارای تقارن مرکزی را می‌توانیم ببینیم. مهمترین گروه در این میان، اعضای بزرگ زیرشاخه‌ی سارکودینا^{۱۶} هستند. رده‌ی خورشیدی‌ها^{۱۷} نمونه‌هایی بارز هستند. بدن این موجودات، شکلی کروی دارد و سیتوپلاسم آن به دو بخش درونی و بیرونی تقسیم می‌شود. بخش درونی دارای هسته‌ی یاخته، و بخش بیرونی حاوی واکوئل‌های فراوان است. پاهای کاذبی^{۱۸} با

¹⁵ Cocci

¹⁶ Subphylum Sarcodina

¹⁷ Heliozoa

¹⁸ Axopodium

محور میانی به شکل شعاعهایی از بدنه‌ی موجود خارج می‌شوند. این پاها می‌توانند تغییر کنند و بزرگ و کوچک شوند. گهگاه اسکلتی هم توسط این موجودات ترشح می‌شود.

دومین گروه مهم از سارکودیناهای کروی، اعضای رده‌ی شعاعیان^{۱۹} هستند. این موجودات دارای یک کپسول پرسوراخ در داخل بدنشان هستند که دو بخش داخلی و خارجی سیتوپلاسم را از هم جدا می‌کند. به همراه این کپسول، همیشه اسکلتی از جنس سیلیس یا سولفات استرنیوم هم وجود دارد. این موجودات همگی دریازی بوده و گاه در اشکال کلنی خود به اندازه‌هایی بزرگ هم دیده می‌شوند. مثلاً جنس *Collozoum* تا 20 سانتی‌متر رشد می‌کند. زیباترین آغازیان یافت شده را می‌توان در این دو رده، یافت. برخی از انواع آمیب‌ها، با وجود فاقد بودن شکل بدن ثابت، اسکلتی را ترشح می‌کنند که دارای تقارن مرکزی است. آمیبهای پوشش‌دار، که در آب شیرین، و خاک مرطوب یافت می‌شوند، این پوشش متقارن خود را از سیلیس، مواد آلی، و یا ترکیبی از هر دو می‌سازند. به عنوان مثال می‌توان از *Arcella discoidea* نام برد که پوششی پروتئینی گنبدمانندی به رنگ قهوه‌ای را ترشح می‌کند. در *Euglypha strigosa* پوسته‌ی خارجی خمره‌مانند است و از فلسه‌هایی سیلیسی تشکیل یافته است. در *Diffugia oblonga* این پوشش از خرده‌های شن و مواد معدنی تشکیل شده. این مواد توسط سیمانی که آمیب ترشح می‌کند، به هم می‌چسبند (Barns, 1987).

در میان شاخه‌ی مژکداران^{۲۰}، که به نظر برخی پیچیده‌ترین آغازیان زنده هستند، تقارن

مرکزی به ندرت دیده می‌شود. اشکال ابتدایی‌تری مثل جنس *Prorodon* و *Prostomatina* می‌توانند چنین تقارنی را از خود نشان دهند. ولی در بقیه چنین چیزی را نمی‌بینیم. در میان

¹⁹ Radiolaria

²⁰ Ciliata

تاژکداران^{۲۱}، نیز چنین شکلی به ندرت دیده می‌شود. تقارن مرکزی را گاه در کلنی تاژکداران می‌توان دید. مشهورترین نمونه از چنین تقارنی، در کلنی *Vovvox* و *Pleodorina* دیده می‌شود. کلنی‌های مزبور، شبیه کره‌هایی توخالی هستند و هر یک از صدها یاخته‌ی تاژکدار فتوسنتزکننده تشکیل یافته‌اند. تقارن مرکزی، در این موجودات کامل نیست، چون یاخته‌های زادآور و باروری که نسل بعد را می‌سازند، به شکلی نامتقارن در درون کلنی پراکنده شده‌اند و بیشتر در قطب پشتی این کره قرار دارند. همین نامتقارن بودن توزیع وزن یاخته‌ها در سطح کلنی، باعث چرخش همیشگی (Barns.-1987). این توپ زنده، در جهت خاصی می‌شود. به طور کلی در جهان آغازیان، تعداد گونه‌های دارای تقارن مرکزی، بخش مهمی از کل تنوع زیستی موجود را تشکیل نمی‌دهد.

ت) اسفنجها

در میان موجودات پریاخته‌ی ابتدایی، مثل شاخه‌ی اسفنجها^{۲۲}، تقارن مرکزی را تنها در نمونه‌های کوچک و ساده‌تر می‌توان دید. بدن اسفنج، در واقع از دیواره‌ای تشکیل یافته که فضایی را در درون خود محصور می‌کند. سوراخهای فراوانی که در سطح این دیواره وجود دارند، ورود آب حاوی مواد غذایی را به این فضای آبی درونی ممکن می‌سازند. این آب، پس از عبور از درون بدن اسفنج و تغذیه کردن یاخته‌های شکارچی سطح داخلی دیواره، در حالی که مواد دفعی را در خود دارد، از سوراخ خروجی بدن موجود - که *Osculum* نام دارد- خارج می‌شود. از آنجا که سطح تماس آب با دیواره‌ی داخلی عاملی تعیین کننده در موفقیت تغذیه‌ی اسفنجها محسوب

²¹ Flagellata

²² Porifera

می‌شود، در سیر تکامل راهی برای بیشینه کردن این سطح ابداع شده، و آن هم چین خوردن دیواره داخلی است. اسفنجها را بر اساس پیچیدگی ساختار و تکامل راه‌های عبور آب در بدنشان، به سه گروه تقسیم می‌شوند. ساده‌ترین گروه در این میان، **Asconoid** نامیده می‌شود. این گروه، فاقد چین خوردگی در دیواره بدن خود هستند و بدنشان به کوزه‌ای باتنه‌ی صاف شباهت دارد. از آنجا که این ساختار جوابگوی تغذیه‌ی تعداد زیادی یاخته نیست، محدودیتی مشخص در اندازه‌ی این جانوران وجود دارد. این گروه، کوچکترین اسفنجها را هم در بر می‌گیرد. این گروه، نمونه‌های دارای تقارن مرکزی را نیز در بر می‌گیرد.

پیچیده‌ترین اسفنجها، بنا بر تعریف بالا، گروهی هستند که راه‌های ورودی و خروجی آب در بدنشان شبکه‌ای در هم بافته را تشکیل می‌دهد، و ساختاری به نام سبدهای لرزان را ایجاد می‌کند. این گروه **Leuconoid** نامیده می‌شوند. در این اسفنجها، دو نوع جریان مایع را می‌توان در بدن موجود تشخیص داد. ساختار بدن اسفنج، یا حالت لوله‌ای دارد، یا حالت جامد. حالت لوله‌ای^{۲۳}، به شکلی منسوب است که در آن آب پس از وارد شدن از منافذ موجود در سطح بدن، توسط یک سوراخ یکتا^{۲۴} از بدن خارج می‌شود. حالت دیگر، که به نوبه‌ی خود پیچیده‌تر از شکل اول است، درون بدن اسفنج یکپارچه و بی‌سوراخ است. آب ورودی و خروجی، توسط شبکه‌ی درهمی از لوله‌های نازک و کانالهای آبی موازی با هم که در سطح بدن پراکنده‌اند، به جریان می‌افتند و یاخته‌های درونی بدن را تغذیه می‌کنند. در وابستگان به گروه نخست، بدن متقارن کوزه یا لوله‌مانند، دیده می‌شود. ولی بدن اسفنجهای دارای حالت جامد معمولاً نامتقارن است.

²³ Tubular

²⁴ Osculum

ث) مرجانها

در موجودات پریاخته‌ی حقیقی، تقارن مرکزی را در دو گروه بزرگ می‌توان دید. دو شاخه از بیست و نه شاخه‌ی موجود در جهان جانوران، به طور عام دارای تقارن مرکزی هستند. نخستین گروه، مرجانها^{۲۵} را در بر می‌گیرد. در این موجودات ابتدایی‌ترین بافت حقیقی را می‌توان دید. مرجانها در کل دو شکل از خود نشان می‌دهند. آنها را می‌توان به دو صورت ثابت^{۲۶} یا متحرک^{۲۷} دید. هر دو شکل دارای تقارن مرکزی مشخص هستند. این تقارن در بیشتر کلنی‌هایی که از تجمع چندین مرجان در کنارهم ایجاد شده‌اند، وجود ندارد. گذشته از این موارد استثنایی، در سایر مرجانها تقارن مرکزی را به عنوان یک طرح پایه‌ی ساختاری می‌توان دید. برای مثال، از هر رده از مرجانها، یک نمونه‌ی مشهور را نام می‌برم:

1) رده‌ی Hydrozoa مرجانهایی را شامل می‌شود که معمولاً به حالت ثابت دیده می‌شوند.

هیدر آب شیرین^{۲۸} یک نمونه از این مرجانهاست. پیکر هیدر، از بدنه‌ای خمیره‌مانند تشکیل یافته که توسط پایه‌ای به سطح زیرینش محکم می‌شود. این بدنه، در سطح بالایی خود، دارای سوراخی است که هم دهان حیوان است و هم مخرج آن. در اطراف این دهان ابتدایی، پنج تا هفت بازوی ساده‌ی متحرک وجود دارند که به یاخته‌های سمی و گیرنده‌های حسی مجهزند و وظیفه‌ی شکار طعمه را بر عهده دارند.

²⁵ Coelentrata

²⁶ Polyp

²⁷ Meduse

²⁸ Hydra fusca

(2) دومین رده‌ی مرجانها، Scyphozoa نام دارد. این رده نمونه‌هایی با دوره‌ی متحرک غالب را در بر می‌گیرد. عروس دریایی²⁹، به عنوان نمونه‌ای آشنا از این مرجانها شهرت دارد. این موجود دارای بدنی گنبد مانند است که در سطح زیرینش چهار بازوی شناگر به طور شعاعی قرار گرفته‌اند. حرکات نرم و موج مانند این موجود، با عمل جت مانند سطح گنبدی‌اش ممکن می‌شود. این موجود هم مانند هیدر، محور تقارنی هم مرکز با دهان جانور دارد که همه‌ی اندامها به شکل شعاعی در اطراف آن قرار گرفته‌اند.

(3) رده‌ی Anthozoa موجوداتی زیبا را در بر می‌گیرد که مدت‌ها جزء گیاهان رده‌بندی می‌شدند. شقایقهای دریایی، موجوداتی هستند با ساختاری شبیه به هیدر، که بازوهای بلند و متعدد دارند. ساختار این گروه از هیدرها بسیار پیچیده‌تر است، ولی همان اصول کلی معماری در بدن اینها هم رعایت شده است. به عنوان یک نمونه از این گروه می‌توان از جنس Cerianthus نام برد.

ج) خارپوستان

دومین شاخه‌ی مهمی که تقارن مرکزی مشخص را در خود به نمایش می‌گذارند، خارپوستان³⁰ هستند اعضای این شاخه، از نظر جنین شناختی با مهره‌داران نزدیکی دارند. آنها موجودات پیچیده‌ی دریازی‌ای هستند که مانند مهره‌داران در دوران جنینی در لوله‌ی گوارششان دو سوراخ دارد. به همین دلیل هم مهره‌داران و خارپوستان را در یک دسته‌ی تکاملی با نام Deuterostomata رده‌بندی می‌کنند. رده‌بند و کالبد شناسی خارپوستان، خود بحثی مفصل است که در این نوشتار

²⁹ Aurelia aurelia

³⁰ Phylum Echinoderma

نمی‌گنجد. من در اینجا به این جزئیات نمی‌پردازم. تنها به این نکته اکتفا می‌کنم که چند نمونه‌ی آشنا در این مورد را فهرست‌وار ذکر کنم.

م‌شهورترین خارپوستان، ستارگان دریایی هستند. این جانوران که در رده‌ی *Stelleroidae* جای می‌گیرند، دارای بدنی پهن و مسطح هستند که پنج بازو از آن خارج شده است. این بازوها می‌تواند بزرگ/کوچک، یا پهن/نازک باشد. ولی همواره تقارن شعاعی مشخصی در آنها دیده می‌شود. ستاره‌های دریایی معمولی که در مجموعه‌های جانورشناسی زیاد دیده می‌شوند، به جنس *Asterias* تعلق دارند. و از اعضای زیررده‌ی *Asteroidea* هستند. خارپوستان دیگری نیز در رده‌ی *Stelleroidae* قرار دارند که به مارسانان معروفند. این موجودات، که به زیررده‌ی *Ophiuroidea* تعلق دارند، بازوهایی دراز و مارمانند دارند که به یک صفحه‌ی گرد مرکزی متصل شده است. یک نمونه‌ی مشهور از این دسته، گونه‌ی *Ophiura sarsi* است. برخی از نمونه‌های مارسانان، رنگها و اشکال غریبی پیدا می‌کنند. مثلاً *Ophiutrix fragilis* جانوری از این دسته است که بازوهایی بسیار دراز و نازک دارد. این موجود گاه رنگهایی زیبا به خود می‌گیرد.

توتیاها، گروه دیگری از خارپوستان هستند. همه‌ی توتیاها در رده‌ی *Echinoidea* جای داده شده‌اند. این موجودات بدنی کروی شکل و پوشیده از خار دارند. این خارها می‌توانند سمی هم باشند. مثلاً در جنس *Diadema* که در اقیانوس هند زندگی می‌کند، چنین سمیتی دیده شده است. در بعضی از توتیاها -مثل- *Clipeasteroidea* تقارن مرکزی از بین می‌رود. در برخی دیگر، این تقارن حالت افراطی به خود می‌گیرد (Barns, 1987) و بدن جانور شکل یک کره‌ی کامل را پیدا می‌کند. به عنوان نمونه‌ای از این گروه می‌توان از *Sphaerechinus granularis* نام برد.

(Larousse, 1974) خیارهای دریایی، (رده‌ی Holothuridea) گروهی دیگر از خارپوستان را شامل می‌شود که بدنی کشیده و ستوانه‌ای دارند. بدن این موجودات در طول محور پشتی-دهانی رشد کرده، و به این حالت دراز در آمده. با این وجود، تقارن مرکزی در این موجودات همچنان باقیست.

رده‌ی Crinoidea ابتدایی‌ترین خارپوستان زنده را در برمی‌گیرد. فسیل این موجودات از دوره‌ی سیلورین پیدا شده، و از آن هنگام تا به حال ساختارشان تغییرات اندکی را تحمل کرده. این موجودات معمولاً در اعماق بالای 100 متری اقیانوسها زندگی می‌کنند و بنابراین چندان شهرتی در بین مردم عادی ندارند. بدن این موجودات از یک ساقه‌ی بلند تشکیل یافته که به تکیه‌گاهی ثابت می‌شود. بدنه‌ی کره‌مانندی که در بالای این ساقه قرار دارد. به این بدنه، چندین پای شعاعی پرماند متصل می‌شود. بدن این موجودات، با طرح مرجان مانند خود، تقارن کاملی را در محور دهانی-پشتی نشان می‌دهد.

ج) سایر شاخه‌ها

در سایر شاخه‌های پرسلولی حقیقی، تقارن مرکزی به فراوانی خارپوستان و مرجانها دیده نمی‌شود. ولی در بعضی موارد استثنایی، چنین پدیده‌ای را در میان گروهی از موجودات دارای تقارن دوطرفی می‌بینیم. در اینجا به برخی از ای مثالها اشاره می‌کنیم، دقت داشته باشید که در شاخه‌های مورد بحث، پدیده تقارن مرکزی به صورت یک استثنا دیده می‌شود، نه قانونی عام.

1) بندپایان: بندپایان مهمترین و بزرگترین شاخه‌ی جانوری بر روی زمین هستند. در این موجودات تقارن مرکزی دیده نمی‌شود، و تنها یک نمونه‌ی آشکار انحراف از این قاعده را

می توان دید. و آن هم در میان کشتی چسبها است. کشتی چسبها^{۳۱}، نوعی سخت پوست هستند که زندگی ثابتی را می گذرانند. این موجودات، تا پیش از سال 1830 م در میان نرمتنان رده بندی می شدند. پس از این تاریخ، با شنا سایی دوره ی لاروی این موجودات، قرابتشان با سخت پوستان محرز شد و آن هنگام به بعد در رده ی تاژک پایان^{۳۲} جای گرفتند. این موجودات از برخی جنبه ها، عجیب ترین سخت پوستان زنده هستند. حدود 900 گونه از آنها تو صیف شده است، که دو سوم آنها به صورت آزاد زندگی می کنند. این سخت پوستان به سنگ یا جسم بزرگی می چسبند و آب اطرافشان را با پاهای بلند شان تصفیه می کنند و از موجودات ذره بینی آن تغذیه می کنند. طرح بدن این موجودات تا حدودی تقارن مرکزی را از خود نشان می دهد. در اینجا هم ما می توانیم همان قرارگیری شعاعی اندامها را نسبت به خط وسط، ببینیم. بدن تاژک پایان، می تواند با ساقه ای به تکیه گاه متصل شود. در برخی هم این ساقه وجود ندارد. همچنین یک پوشش آهکی صدف مانند می تواند بدن نرم آنها را در خود بگیرد، یا نگیرد. به این ترتیب، تاژک پایان را می توان بر اساس وجود یا عدم وجود ساقه و صدف، تقسیم بندی کرد. تقارن مرکزی در بیشتر نمونه های کشتی چسب، به خوبی دیده می شود. از میان نمونه های متقارن ساقه دار و بی صدف، می توان *Heteralepas* و *Alepas* را نام برد. *Peaelepas* یک نمونه ی دارای ساقه و صدف است، و *Balanus* یک مثال از تاژک پایان صدف دار بی ساقه است. همه ی نمونه های نامبرده دارای تقارن مرکزی می باشند.

³¹ Barnacles

³² Cirripedia

(2) تاژ یا نه‌داران^{۳۳}: این موجودات هم به همراه خارپوس‌تان و مهره‌داران، در رو شاخه‌ی *Deuterostoma* قرار می‌گیرند. در برخی از اعضای این گروه، تقارن مرکزی دیده می‌شود. در شاخه‌ی *Bryozoa* کل کلنی‌ای که از چندین عضو تشکیل شده، تقارن مرکزی ندارد، و چنانکه از نامش پیداشد، به جلبک شباهت دارد. ولی هر یک از اعضای همین کلنی چنین تقارنی دارند. مثلاً در *Bowerbankia* که از بریوزوآهای *Gymnolaemata* است، کلنی به شاخه‌های جلبک شبیه است، ولی هر یک از اعضای آن کوزه مانند و متقارنند. کلنی‌های درخت مانند *Bugula neritina* هم چنین خاصیتی دارند.

(3) مازه داران ابتدایی^{۳۴}: در ابتدایی‌ترین اعضای شاخه‌ی مازه‌داران *Chordata* تقارن مرکزی نیز دیده می‌شود. تقریباً همه‌ی مازه داران اولیه، دارای تقارن دوطرفی هستند، تنها گروهی که در این میان تقارن مرکزی را از خود نشان می‌دهند، برخی از وابستگان به زیرشاخه‌ی غلاف‌داران^{۳۵} هستند. مثلاً *Dolidium rarum* که از گروه *Apendicularia* است، بدنی کوزه مانند دارد و حتی جریان آب در داخل بدنش هم دارای تقارن است. نکته‌ی جالب اینکه در همین زیرشاخه، معدود نمونه‌هایی را زیرعنوان اسیدی‌ها می‌بینیم که در حالت بالغ اصلاً تقارن ندارند. یکی از این موجودات، اسیدی سرخرنگ و زیبایی است که *Phalusia mamillata* نام دارد. همه‌ی اسیدی‌ها بدنی کوزه مانند دارند که دو سوراخ نامتقارن ورودی و خروجی برای آب در کنارشان قرار گرفته است.

³³ Lophophorata

³⁴ Ascidian

³⁵ Urochordata=Tunicata

دوم: تقارن دوطرفی

تقارن دو طرفی، همان است که در هندسه ی اقلیدسی با نام تقارن محوری مشهور است. این شکل از تقارن، پدیده ای عام در میان موجودات زنده است و به فراوانی دیده می شود. می توان به همه ی موجودات زنده ای که تقارن مرکزی ندارند، گذشته از چند استثنا، تقارن محوری را نسبت داد. گذشته از چند استثنای کوچک، ساختار بدن همه ی موجودات زنده، دارای نوعی تقارن است. ناگفته نماند که این تقارن، در برخی موارد شکسته می شود. این شکست تقارن، موضوع بحث فصل دیگر خواهد بود، و در اینجا صرفاً دانستن همین نکته بسنده است که حتی در جاهایی هم که شکست تقارن را می بینیم، قبلاً نوعی تقارن را می دیده ایم. از آنجا که نمی خواهیم زیاد به حجم مطلب افزوده شود، در اینجا تنها خطوط کلی پدیده ی تقارن دوطرفی در جانداران را ترسیم می کنم. چنین فرض می شود که نمونه های برجسته ی تقارن دوطرفی، مثل مهره داران بزرگ و حشرات، توسط خواننده در نظر گرفته می شوند.

تقارن دوطرفی، چنین تعریف می شود: اگر بتوانیم در بدن یک موجود زنده، محوری بیابیم، به شکلی که متقارن هر اندام در یک طرف این محور، در نقطه ی مقابل بدن نسبت به محور هم دیده شود، آنگاه این موجود دارای تقارن دوطرفی است. به بیان دیگر، موجودی دارای تقارن دوطرفی است که اندامهایش نسبت به خط وسط فرضی ای جفت باشند.

پدیده ی تعریف شده، به فراوانی در جانداران دیده می شود. در اینجا، تنها برای اینکه دیدگاهی از این موضوع به دست دهیم، چند مثال را از شاخه های مهم ذکر می کنم و به اختصار می گذرم. اگر بخواهیم برای تقارن دوطرفی مثال بیاوریم، - دست کم در میان جانوران، - تعداد مثالهایمان فقط کمی کمتر از کل نمونه هایمان خواهد بود.

الف) ویروسها

ویروسها، تنها گروهی از موجودات زنده هستند که تعداد نمونه‌های دارای تقارن مرکزی و محوری درشان قابل مقایسه است. بخش مهمی از ویروسها، چنانکه دیدیم، دارای تقارن مرکزی بودند. بقیه‌ی ویروسها را، می‌توان دارای تقارن دو طرفی دانست. این تقارن به دو شکل می‌تواند تجلی پیدا کند.

نخست، ممکن است کپسومرهای ویروس شکلی استوانه‌مانند را بسازند. در این حالت، شکل حاصل دارای تقارن دوطرفی مشخصی خواهد بود، و محور تقارن از مرکز فر ضی پیچهای ماده‌ی وراثتی ویروس گذر خواهد کرد. در ویروس‌شناسی، این معماری خاص را با اصطلاح ماریچی مورد اشاره قرار می‌دهند. یک نمونه‌ی آشنا از این ویروس‌ها، ویروس موزائیک توتون^{۳۶} است که بر برگهای گیاه توتون^{۳۷} لکه‌های زردرنگ ایجاد می‌کند. این ویروس از یک رشته RNA حلقوی تکرار شده‌ای درست شده که 2100 کپسومر پروتئینی یکسان در اطرافش قرار گرفته‌اند. همه‌ی این کپسومرها یکسانند و هریک از یک رشته‌ی پروتئینی با 158 اسید آمینه تشکیل یافته است. باکتریوفاژ M-13 یکی دیگر از ویروسهای دارای این نوع تقارن است. به دلیل وجود ماده‌ی وراثتی حلقوی در مرکز کپسید، نمی‌توان این ویروسها را دارای تقارن مرکزی در نظر گرفت. ماده‌ی وراثتی مورد نظر لزوماً یا راست‌گرد است و یا چپ‌گرد، و بنابراین تنها نوعی تقارن انتقالی می‌توان

MTV= Musaic Tubacum Virus³⁶

³⁷ Nicotina tubacum

برایش فرض کرد. با توجه به وضع قرارگیری کپسومرها نسبت به این محور نامتقارن مرکزی، تنها تقارنی که می‌توان به کل ویروس نسبت داد، -براساس ریخت پوشش آن- تقارن محوری است. دومین حالت، در ویروس‌هایی دیده می‌شود که با نام پیچیده مشهورند. این ویروسها از یک سر بیست وجهی، و یک ساقه‌ی میله‌ای حلقوی تشکیل یافته‌اند. یعنی این موجودات ترکیبی از یک سر دارای تقارن مرکزی، و یک ساقه‌ی دارای تقارن دوطرفی تشکیل یافته‌اند. این ویروسها همگی چرخه‌ی زندگی پیچیده‌ای داشته و معمولاً باکتریوفاژ هستند.

ب) پروکاریوت‌ها

در میان پروکاریوتها هم به فراوانی میتوان تقارن دمحوری را دید. همه‌ی باسیلهای میله‌ای، - مثل *Bacillus anthracis*- و همه‌ی کوکوباسیلها، -مثل *Escherichia coli*- دارای تقارن دوطرفی‌اند. حتی استرپتوکوکها هم، با وجود اینکه از اجزایی با تقارن مرکزی در ست شده‌اند، در شکل زنجیره‌ای خود تنها دارای تقارن دوطرفی هستند. در این میان، ویبریونها، -به دلیل داشتن خمیدگی به یک طرف-، و اسپریلها -به دلیل وجود موجهای منظم در بدنه شان-، شکل خاصی از این تقارن را آشکار می‌کنند. از میان ویبریوناسه، می‌توان از میکرب وبا *Vibrio cholera* و عامل گا ستروآنتریت³⁸ نام برد. مثالی گذشته از مایکوپلا سماها، ریکتسیاها، و کلامیدیاها که فاقد دیواره خارجی، و بنابراین شکل مشخص هستند، سایر باکتریهای معمولی همگی نوعی از تقارن را در خود ظاهر می‌کنند. تقارن دو طرفه‌ای به همین ترتیب را در آکتینومیستها هم دیده می‌شود.

³⁸ *Vibrio parahaemolyticus*

ب) آغازیان

در آغازیان جانوری تقارن دوطرفی دیده می شود، ولی مثل تقارن مرکزی، چندان شایع نیست. یعنی نسبت نمونه‌های فاقد تقارن، به دارای تقارن، در آغازیان بیشتر از باقی گروه‌هاست. تاژکداران بسته به تعداد و محل قرارگیری تاژکهای خود می‌توانند دارای تقارن دوطرفی باشند یا نباشند. جنس *Euglena* نمونه‌ای است که می‌توان دارای تقارن فرضی کرد، و جنس *Ceratium* نمونه‌ای است که به خاطر خارهای نامنظمش، فاقد تقارن فرضی می‌شود. در آمیب‌ها نمی‌توان دارای محور تقارن ظاهری‌ای در نظر گرفت، و سایر سارکودیناها هم معمول چنین وضعی دارند. در میان مژکداران، وضع فرق می‌کند و نمونه‌های زیادی با تقارن دوطرفی دیده می‌شوند. *Stentor* و *Vorticella* مثالهایی مشهورند. البته این شیوع تقارن در مژکداران مطلق نیست، و نمونه‌های نامتقارنی مثل *Pleuronema* هم در آن میان یافت می‌شوند.

ت) سایر شاخه‌ها

در این شاخه‌ها، تقارن دوطرفی به صورت یک ویژگی اساسی مشاهده می‌شود: کرم‌های پهن، کرم‌های لوله‌ای، کرم‌های حلقوی، *Nemertea* حالت پایه‌ی نرم‌تنان، بندپایان، و زیرشاخه‌ی مهره‌داران. این شاخه‌ها، بخش عمده‌ی تنوع زیستی جانوری را بر سطح زمین تشکیل می‌دهند. چنان که می‌بینیم، تقارن دوطرفی را می‌توان به عنوان خاصیتی عام در میان جانوران عالی در نظر گرفت. از آنجا که پرداختن به آناتومی و ساختار بدنی همه‌ی شاخه‌های مورد نظر زمان و جایی دیگر می‌طلبد،

در این جا تنها به همین فهرست اکتفا می‌کنم. علاقمندان می‌توانند برای آشناتر شدن با الگوی کالبد شناختی نمونه‌های مورد بحث، و مصادیق تقارن در آن، از مراجع معرفی شده استفاده کنند. علاوه بر مواردی که نام بردم، در دو شاخه‌ی دارای تقارن مرکزی غالب، یعنی مرجانها و خارپوستان هم نمونه‌های استثنایی‌ای از تقارن دوطرفی را می‌توان دید. بیشتر مرجانهایی که به شکل کلنی زندگی می‌کنند، شکل معمول خود را از دست می‌دهند و در برابر تقارن محوری پیدا می‌کنند. بهترین مثال در این مورد، کلنی کیسه‌تنی است که مرد جنگی پرتغالی^{۳۹} نام دارد. این کلنی به صورت توده‌ای ژلاتینی و متورم بر سطح آب شناور می‌ماند و به کمک بادبان کشیده و دوکی شکل خود بر سطح آب حرکت می‌کند. در خارپوستان هم چنان که گفتیم در گروه دلارهای سنگی^{۴۰} تقارن دو طرفی را می‌بینیم. در ضمن باید به این نکته توجه کرد که جنین خارپوستان تقارنی دو طرفی از خود نشان می‌دهند و به تدریج با طی مراحل رشد جنین تقارن مرکزی خود را به دست می‌آورند. در تازیانه‌داران هم، گذشته از شاخه‌ی *Bryozoa* تقارن دوطرفی را به شکل عام می‌توان مشاهده کرد.

³⁹ *Physalia physalia*

⁴⁰ *Clypeasteroidea*

سوم: تقارن مقیاسی

تقارن مقیاسی، چنانکه گفتیم در ریاضیات برخالی مصداق فراوان دارد. کاربرد این نظریه در زیست‌شناسی هم مانند خود نظریه‌ی ریاضی‌اش، بسیار جوان است.

مدت کوتاهی از کشف این نکته می‌گذرد، که بسیاری از پدیده‌های جهان زنده، تنها توسط ریاضیات برخالی قابل تحلیل هستند. برخالی بودن ابرها، کوه‌ها، دانه‌های برف، و سواحل جزیره‌ها به راحتی توسط معادلات هندسه‌ی برخالی، نشان داده شده است. یک دیدگاه غالب در زیست‌شناسی نظری نوین، این است که پدیده‌ی زندگی نیز در کنار این مصادیق بیجان، باید به عنوان مثالی از برخالی بودن جهان در نظر گرفته شود. برای طرح این دیدگاه تلاش‌های فراوانی انجام گرفته که معمولاً هم موفق بوده است. پدیده‌ی خودهمانندی، -یعنی تقارن در مقیاس- یکی از مواردی است که از دیرباز در مورد سیستم‌های زنده مطرح بوده است.

دکارت، خود یکی از کسانی بود که پدیده‌ی خودهمانندی شکل پره‌های درون صدف نوتیلوس⁴¹ را با اصطلاح **Equiangular** مورد اشاره قرار داده. این پره‌ها، در داخل صدف جانور اتاقک‌هایی را درست می‌کند که توسط گازهای نیتروژنی تولید شده توسط موجود پر می‌شوند و به شناوری آن کمک می‌کنند. این پره‌ها، در تمام بخش‌های صدف شکلی خاص دارد، و با ترتیبی لگاریتمی اندازه‌اش زیاد می‌شود. برنولی، تامپسون، و زیست‌شناس/ریاضیدانان پیشگام دیگری نیز بوده‌اند که این پدیده را مورد توجه قرار دهند. آنان بیشتر از دید ریاضیات کلاسیک به قضیه نگاه

⁴¹نوتیلوس: Nautilus نوعی نرم‌تن شبیه به هشت‌پا که دارای صدفی متقارن است و در داخل آن پره‌هایی خمیده دارد.

کرده‌اند، و نوعی معادله‌ی لگاریتمی برای رشد این پره‌ها به دست آورده‌اند. گرچه می‌توان از این دید هم به این پره‌ها نگاه کرد، ولی نکته‌ی جالبتر، این است که همین پدیده نوعی (West, 1990). خودهمانندی برخالی مشخص را در خود نهفته است. مدل‌های برخالی فراوانی با معادلات ساده‌ی ریاضی تولید شده‌اند که ریخت این پره‌های خمیده را دقیقاً بازنمایی می‌کنند.

در جانورشناسی، مثالهایی فراوان در مورد طبیعت برخالی زندگی در دست است. شاخه‌بندی شش‌های انسان، رگ‌بندی عضلات، پراکنش الیاف هیس در قلب، انشعابات لوله‌های جمع‌کننده‌ی کلیه، و... همه و همه خصیصه‌ی برخالی دارند. نشان داده شده که بیان برخالی ریخت‌زایی⁴² در جنین، نسبت به مدل‌های (West, 1990). استوار بر ریاضیات کلاسیک، دقت و خطاپذیری کمتری دارد.

در ریخت‌شناسی نیز، چه در گیاهشناسی و چه در جانورشناسی - به اشکال برخالی بسیار برمی‌خوریم. شاخه‌بندی گیاهان و به ویژه سرخسها و گیاهان گلدار، به عنوان نمونه‌های بارز از برخالی بودن طبیعت محسوب می‌شوند. معادلات ساده‌ای وجود دارند که به خوبی قادر به ساختن برخالی شبیه به برگ یا درخت هستند. شباهت این مدل‌های ریاضی با پدیده‌های زنده به قدری زیاد است که گاه ممکن است در تشخیص حقیقی از مصنوعی دچار مشکل شد. در واقع، همانطور که در جانوران تقارن دوطرفی را به شکل حالتی عام می‌بینیم، در گیاهان نیز تقارن مقیاسی چنین جایگاهی دارد. اشکال شاخه‌دار شبیه به گیاهان، در جانوران نیز فراوان دیده می‌شوند. پیشاپیش به این امر اشاره کردیم که در بریوزوآها، اشکالی بسیار شبیه به جلبکها دیده می‌شود. در این شاخه از جانوران، اشکالی کاملاً درخت مانند هم می‌توانند به وجود آیند. مثلاً در گونه‌ی *Retepora beamiana* و جنس *Octocoralia* ساختار درخت مانند برخالی مشخصی دیده می‌شود. در

⁴² Morphogenesis

مرجانها هم معماری درخت مانند به فراوانی دیده می‌شود. مثلاً کلنی هیدروزوئید *Aglaophenaia* که از اعضایی با تقارن مرکزی تشکیل شده، در کل شباهتی چشمگیر با برگ سرخس دارد. کل مرجانهای راسته‌ی *Gorgonacea* نیز الگویی مشابه با شاخه‌های درختان دارند. همچنین در انشعابات پاهای نازک نوعی خارتن مارسان به نام *Astroboa beamiana* نیز می‌توان چنین طرح مشترکی را بازیافت. این شباهتهای بنیادی در الگوی ریختی موجوداتی که از نظر تکاملی تا این حد از هم دورند، می‌تواند توسط فرض دینامیک برخالی عامی در جهان زنده، به خوبی توجیه شود.

این ساختار برخالی، در صدف بسیاری از جانوران، به ویژه در نرمتنان به خوبی دیده می‌شود. شکل مارپیچی موجود در صدف یک حلزون معمولی⁴³ نمونه‌ای از این ساختار برخالی است. می‌دانیم که اشکال مارپیچی حلزون مانند، در بسیاری از موجودات دیده می‌شوند. گونه‌های مهمی از روزن‌داران دارای ساختارهایی حلزونی هستند که به خوبی با همان معادلات مربوط به حلزون معمولی قابل توجیه هستند. مثلاً *depressulus Nonion* گونه‌ای است که شکل حلزونی مشخصی را از خود نشان می‌دهد.

نتیجه‌ای که می‌خواهم از همه‌ی این حرفها بگیرم این است که تقارن مقیاسی هم، نوعی از تقارن است که به اندازه‌ی تقارن مرکزی و دوطرفه در جهان زنده شیوع دارد. یکی از مهمترین دلایل نادیده انگاشته شدن این تقارن مهم را می‌توان در پیچیده بودن تعریف آن نهفته دانست. این پیچیدگی به قدری است که خود ما نیز تا همین اواخر از وجود چنین شکلی از هندسه و دینامیک الگوها بی‌خبر بودیم. تحلیل برخالی موجودات زنده، تازه در آغاز راه خود است، و شاخه‌ای جوان

⁴³ *Helix sp.*

و ناشناخته به شمار می‌رود. این برخورد با سیستم‌های زنده، می‌تواند نویدبخش ایجاد سطح

شناختی نوینی از اشتراکات عام موجود بین همه‌ی جانداران باشد.

چهارم: تقارن انتقالی^{۴۴}

این نوع از تقارن هم هنوز وارد حیطه‌ی زیست‌شناسی رسمی نشده، و من در اینجا تنها نوعی ایده‌ی خام و قابل‌نقد را پیشنهاد خواهم کرد.

علاوه بر سه نوع تقارنی که شرحش گذشت، نوعی تقارن هم وجود دارد که در کرم‌های حلقوی به وضوح دیده می‌شود. این تقارن که با ناوردایی انتقال در فیزیک هم‌ارز است، به وجود بخشهایی مشابه در بدن یک موجود اشاره دارد، به شکلی که هم‌ی این بخشها با هم برابر باشند. به شکلی که انتقال یکی از آنها به جای دیگری هیچ نوع تفاوت محسوس را تولید نکند. تاجایی که من میدانم، در دو گروه از جانوران نسبتاً ابتدایی چنین پدیده‌ای را می‌توان دید. از همه مهمتر، کرمهای حلقوی هستند که بندهای بدنشان، به جز دو بند اول و آخر و بندهای تناسلی، دقیقاً هم‌ارز است. چنین حالتی را در کرم خاکی^{۴۵} معمولی به خوبی می‌توان دید. کرمهای حلقوی دیگری هم، مثل *Nereis* و *Amphitrite* الگویی مشابه را در ساخت بدنی خود نشان می‌دهند.

چنین حالتی را، در برخی از کرمهای پهن هم می‌توان دید. مثال بارز در این مورد، کرم کدو^{۴۶} است که بندهایی دقیقاً مشابه دارد. تنها تفاوت این بندها، اختلاف در رسیدگی جنسی است. چنین چیزی را در برخی از کرمهای پهن انگلی دیگر هم میتوانیم ببینیم. حالتی مشابه، در بین وابستگان به هزارپایان^{۴۷} هم دیده می‌شود. در این موجودات هم طرح کلی بندهای متوالی، کمابیش یکسان است.

⁴⁴ Transformation invariance

⁴⁵ *Lumbricus terrestris*

⁴⁶ *Tenia* sp.

⁴⁷ *Milipedia*

نتیجه اینکه نوعی دیگر هم از تقارن در موجودات زنده‌ی دارای بدن بندبند وجود دارد که چندان مورد توجه قرار نگرفته.

تقارن انتقالی را حتی در موجودات پیچیده تری که بدن بندبند ندارند، هم می‌توان دید. در ریاضیات نوعی تبدیل وجود دارد به نام چرخه‌ای کردن^{۴۸}. اینکار عبارت است از تکرار نامتناهی یک عمل بر یک عضو، و تولید رشته‌ای از عناصر شبیه به آن عضو. این تبدیل می‌تواند به دو شکل اقلیدسی^{۴۹} و مویوسی^{۵۰} انجام گیرد. به جزئیات اختلاف این دو روش کاری ندارم، تنها چیز مهم این است که با چرخه‌ای کردن مویوسی، می‌توان مدل‌های ریاضی جالبی ساخت، که دقیقاً به بعضی از پدیده‌های طبیعی شبیه باشند. مثلاً اعضای از بدن موجودات پیچیده، را که دارای تقارن انتقالی باشند، می‌توان به این روش مدلسازی کرد. به عنوان نمونه به سه تا از این اعضا اشاره می‌کنم: شاخک نوع شانه‌ای^{۵۱} در حشرات مثل پروانه ابریشم نر^{۵۲}، ستون مهره‌ها در آدم، و شاخ بندبند آهوی *Antholops jhodesoni*. همه‌ی این موارد دارای تکرارهایی از عناصر مشابه هستند. در هر تکرار، اندازه و زاویه قرارگیری این عناصر کمی تغییر می‌کند، -این ویژگی تبدیل مویوس است- و بنابراین خمیدگی در رشته‌ی تولید شده را نتیجه می‌دهد.

اگر کمی دقیقتر به ساختارهای زنده‌ی میکرو سکی و مولکولی بنگریم، نمونه‌هایی دیگر از این شکست تقارن را در آنجا خواهیم دید. بهترین مثالها در این مورد، مولکولهای وراثتی و ساختمانی بدن موجودات زنده‌اند. در DNA مارپیچ دوگانه‌ی مشهور، به دلیل خصلت مارپیچی‌اش، نوعی تقارن انتقالی بی‌نقص را به نمایش می‌گذارد. چنین شکلی را در ساختار دوم پروتئینها هم می‌بینیم.

⁴⁸ Cyclomerization

⁴⁹ Euclidian cuclimerization

⁵⁰ Mobius cyclomerization

⁵¹ Pectinata

⁵² Bombyx mori

در این سطح از پیچیدگی، پروتئینها دو شکل مشخص از خود نشان می دهند . یک ساختار، به صفحات بتا معروف است و از چینهایی متقارن تشکیل یافته که خصلت تکراری بودن و تقارن انتقالی را به خوبی نشان می دهند. در ساختار دوم، که به مارپیچ آلفا مشهور است، تقارنی شبیه به DNA را می توان باز یافت. مارپیچ آلفا، می تواند راست گرد یا چپ گرد باشد. ولی تنها شکل راست گرد آن در پروتئین ها شناسایی شده است. می بینیم که حتی در این سطح هم چیزی شبیه به تقارن انتقالی را می توانیم ببینیم (Rawn,1989).

بخش دوم: شکست تقارن

مفاهیم بنیادی

پس از تعریف تقارن، مفهوم شکست تقارن به سادگی تعریف پذیر می شود. شکست تقارن، به معنی از بین رفتن عواملی است که شرط تقارن را برقرار می کردند. باید توجه کرد که وقتی که از شکست تقارن سخن می گوئیم، لزوماً در پشت این مفهوم، پیش فرض حضور ابتدایی تقارن را ذکر کرده ایم. یعنی تنها هنگامی شکست تقارن را خواهیم داشت که پیشاپیش تقارن را داشته باشیم. یکی از بیان‌های زیبایی که از شکست تقارن وجود دارد، این است: تقارن عبارت است از حرکت. مبنای این تعریف چنین است: اگر ذره‌ای را در فضایی که دارای تقارن محض است، یعنی از هر نظر همگن است قرار دهیم، حرکتی را در این ذره نخواهیم دید. یک ذره، در فضایی که همه‌ی کمیات آن در همه‌ی جهات یکسانند، هیچ نوع رفتاری نشان نمی‌دهد. و این بی‌تفاوتی خاصه‌ی اساسی وجود تقارن است. تقارن همواره با درجه‌ای از بی‌تفاوتی همراه است. چرا که تعریف آن با تعریف بی‌تفاوتی یکسان است. اگر در فضای اطراف این ذره‌ی فرضی، تقارن بشکند، همگن بودن فضا نسبت به دست کم یک کمیت مشخص از بین خواهد رفت. این امر، پیامدی محسوس به دنبال دارد. ذره، به حرکت در می‌آید. بنابراین، هرکجا که حرکتی دیدیم، باید بدانیم که شکست تقارنی در ابتدا وجود داشته، و به آن منجر شده. جهان اطراف ما مملو از حرکت است، پس تقارن، در عمل، مصداق محضی ندارد.

به تعبیری دیگر، شکست تقارن، ایجاد تفاوت است، در برابر بی تفاوتی ذاتی تقارن. و چون تقارن زاینده‌ی اطلاعات است، شکست تقارن اطلاعات تولید می‌کند. ولی این مفهومی است که بعداً به آن خواهیم پرداخت.

در جهان زنده، و همچنین در سطوح پایتتر و کوچکتر این جهان زنده، شکست تقارن را به فراوانی می‌بینیم. این مفهوم، یعنی شکست تقارن، برای بحث من مهم است، و به این دلیل هم در اینجا مفصل‌تر به آن خواهیم پرداخت. برای منظم شدن بحث، از ابعاد میکروسکوپی به ماکروسکوپی حرکت خواهیم کرد، و در طی این مسیر خواهیم دید که برخی از ویژگی‌های هم‌ارز در همه‌ی سطوح تکرار می‌شود.

نخست: شکست تقارن در سطوح مولکولی

شکست تقارن در سطوح مولکولی به فراوانی قابل مشاهده است. پیش از پرداختن به مثالها، باید چند مفهوم ابتدایی در شیمی آلی و بیوشیمی تعریف شود.

الف) مفهوم ایزومری فضایی انانتیومری^{۵۳}

کربنی که دارای چهار لیگاند متفاوت با هم باشد، کربن نامتقارن نامیده می‌شود. از آنجا که این تعداد لیگاند با این تنوع معمولاً در مولکولهای آلی دیده می‌شود، این اصطلاح بیشتر در شیمی آلی کاربرد دارد. مولکولهایی که دارای کربن نامتقارن باشند، دارای نوعی خاص از ایزومری هستند، که انانتیومر نامیده می‌شود. این ایزومری به این مفهوم است که در برابر هر مولکول دارای چنین کربنی، مولکول مشابه دیگری هم وجود دارد که ساختارش دقیقاً مثل تصویر آینه‌ای مولکول اول است. ناگفته پیداست که مولکول فاقد کربن نامتقارن، به دلیل داشتن یک محور تقارن، -که از دو لیگاند مشابه متصل به کربن می‌گذرد،- چنین ایزومری نخواهد داشت. برای بیان خاصیت مولکولهایی که به این شکل راست‌دست و چپ‌دست هستند، اصطلاح **Chirality** را به کار می‌برند. ایزومرهایی که به این ترتیب حاصل می‌شوند، علاوه بر انانتیومر، با نامهای دیگری مثل ایزومر فضایی^{۵۴}، و ایزومر نوری^{۵۵} هم خوانده می‌شوند. ایزومرهای نوری، نام خود را مدیون ویژگی خاصی هستند که به فعالیت نوری شهرت یافته. مولکولهای عادی، -مثل آب، دی‌اکسید کربن، و مثلاً دی‌هیدروکسی استون،- که دارای ریخت متقارن هستند، نور قطبیده‌ی افقی را به هیچ جهتی منحرف نمی‌کنند. در مقابل، انانتیومرها بر حسب آرایش فضایی خود، این نور را به راست یا به چپ می‌گردانند. ساده‌ترین کربوهیدراتی که دارای ایزومر فضایی است، گلیسرآلدئید نام دارد. در این مولکول اگر بنیان هیدروکسیل متصل به کربن، در طرف چپ باشد، نور قطبیده به چپ منحرف می‌شود، و بنیانی که در سمت راست باشد نور را به راست می‌گرداند. به همین دلیل هم این دو

⁵³ Enantiomer

⁵⁴ Stereoisomer

⁵⁵ Optical isomer

انانتیومر را به نامهای (L نماد Laevo یا چپ) و (D نماد Dextro یا راست) می نامند. در سایر مولکول ها هم، این نامگذاری مورد استفاده قرار می گیرد، ولی در این موارد دیگر جهت چرخش نور نیست که D یا L بودن را مشخص می کند. بلکه این دو نام تنها بر اساس ساختار فضایی مولکول تعریف می شوند (Rawn, 1989).

ب) تکامل ایزومری فضایی

اسیدهای آمینه، به دلیل دارا بودن کربن نامتقارن آلفا، می توانند دو شکل راست و چپ را از خود نشان دهند. در طبیعت شکل راست دیده نمی شود و همه ی پروتئینهای شناخته شده، تنها دارای اسید آمینه های شکل L در ساختار خود بوده اند. قندها هم، با توجه به پیچیدگی خود، قادر به تولید این دو نوع ایزومری فضایی هستند، ولی در آنها هم تنها شکل D دیده می شود. با توجه به اینکه این دو ایزومر تفاوتی با هم ندارند، این شکست تقارن بسیار شگفت انگیز می نماید. البته آشکار است که این یک جهته شدن اسیدهای آمینه و قندها، ریشه در ساختار نامتقارن آنزیم هایی دارد، که آنها را می سازند، یا برای ساخت مولکولهای درشت تر به کار می برند.

در ساختارهای کمی پیچیده تر، مثل مارپیچ آلفا و نوار DNA شکل دیگری از این شکست تقارن را می توان دید. در این سطوح، شکل مارپیچی زیاد دیده می شود، و عدم تقارنی که وجود دارد به راست گرد یا چپ گرد بودن این مارپیچها مربوط می شود. یک مارپیچ، با توجه به شکل فضایی خود، می تواند دارای تصویر آینه ای متفاوت با خود باشد، همین امکان وجود تصویر آینه ای متفاوت، زمینه ساز شکست تقارن در سیستم های زنده است. در عمل هم هرکجا که ما چنین شکلی از تفاوت فضایی را می بینیم، شکست تقارن را هم در کنارش می یابیم. مارپیچهای آلفا، یا DNA هم با توجه به همین اصل، در دو شکل راست گرد و چپ گرد دیده نمی شوند. همه ی

مولکولهای ماریچی مورد بحث، با وجود تنوع خارج از تصویری که می‌توانند پیدا کنند، همواره به شکل راست‌گرد دیده می‌شوند. این ساخت ویژه را می‌توان به آنزیم‌های تولیدکننده‌ی آنها نسبت داد.

گاه واحدهای سازنده‌ی یک مولکول که دارای گردش تقارنی خاصی هستند، نوع دیگری از تقارن را از خود نشان می‌دهند. مثلاً واحدهای سازنده پروتئینی به نام آلفا-کراتین، از چهار رشته‌ی ماریچ آلفای راست‌گرد تشکیل یافته که دو به دو به هم متصل می‌شوند و در نهایت ماریچی بزرگ را می‌سازند که خودش چپ‌گرد است. بنابراین پدید آمدن اشکال راست‌گرد و چپ‌گرد، از زیرواحدهای مشابه دارنده‌ی تقارن راست‌گرد ممکن است. هرچند این پدیده چندان شایع نیست.

پ) اختلافات ایزومرهای فضایی

با وجود آنکه ما در بحث خود دو ایزومر را تقریباً یکسان فرض کردیم، ولی بین این دو ساختار تفاوت‌های کوچکی وجود دارد. این تفاوت‌های جزئی، بیشتر به همان مفهوم شکست تقارن به معنای ناهمگن بودن شرایط محیطی مربوط می‌شود. نشان داده شده که دو شکل L و D اسیدهای آمینه، دارای اختلاف انرژی پیوندی در حد $10^{-19} * 6/5$ الکترون ولت دارند. این اختلاف برای غلبه کردن یک نوع بر نوع دیگر در سیر تکامل کافی نیست. این غلبه را به دلایل محیطی چندی، مثل اثر گردش جهتدار زمین به دور خود، و نامتقارن بودن سطوحی که واکنش‌های اولیه‌ی بیوشیمیایی بر آن انجام شده‌اند، نسبت داده‌اند. همچنین نشان داده شده که آنتالپی بین ایزومرهای فضایی، با توجه به درجه‌ی نامتقارن بودنشان، افزایش می‌یابد.

مدلسازی‌های آماری‌ای هم انجام شده که نشان می‌دهد شکل‌گیری اشکال دارای ایزومری فضایی، از مواد اولیه‌ی متقارن ممکن است. بر اساس این مدلها، اگر در یک سیستم شیمیایی دارای واکنشهای Autocatalytic تغییراتی در حد 10-8% در غلظت یکی از انواع ایزومری ایجاد شود، در نهایت غلظت این شکل ایزومری بر دیگری غلبه خواهد کرد. یعنی همین تفاوت جزئی در شرایط اولیه، می‌تواند به حذف یکی از ایزومرها در محیط بیانجامد. با توجه به این که نوسانات کاتوره‌ای غلظت در سیستم‌های شیمیایی مورد بحث بیشتر از این مقدار آستانه است، به سادگی می‌توان پذیرفت که شکل خاص غلبه‌ی یک ایزومر فضایی بر دیگران در سیستم‌های زنده، نتیجه‌ی تغییرات تصادفی و بی‌هدف اولیه در سوپ آلی سازنده‌ی زندگی بر زمین بوده باشد.

این تغییرات در طول این میلیاردها سالی که اندرکنش مواد زنده صورت می‌گرفته، تشدید شده و به حضور تنها یک نوع ایزومر انجامیده. با توجه به اینکه تخصص یافتن یک سیستم کارکردی، مثلاً یک آنزیم، می‌تواند با شکست تقارن همراه باشد، می‌توان تمایل طبیعت به برگزیدن اشکال نامتقارن دارای Chirality را در سطح مولکولی توجیه کرد. این گزینش به قدری حالت تخصصی به خود گرفته که آنزیم‌های کنونی تنها قادر به هضم و سنتز قندهای D و اسید آمینه‌های L هستند و فقط پروتئین و DNAهای دارای خلصت راست‌گردی را تولید می‌کنند. این تخصصی شدن آنزیم‌ها نسبت به تقارن فضایی به قدری شدید است که هنوز هم بهترین راه برای جداسازی ایزومرهای فضایی موجود در یک مخلوط را سمیک⁵⁶، استفاده از باکتریهای است که آنزیم هضم مخلوط دو ایزومر یکی از آنها را دارند. به بیان دیگر، با وجود پیشرفت‌های عظیم در تکنولوژی شیمی تجزیه، هنوز هم آنزیم‌ها حساسترین تمایزدهندگان تقارن فضایی هستند.

⁵⁶ Racemic

مارپیچ‌های آلفای تولید شده از اسید آمینه‌های نامتقارن، دارای سطوح انرژی متفاوتی هستند. یک مارپیچ آلفای راست‌گرد که فقط از L-Alanin تشکیل شده باشد، نسبت به شکل چپ‌گرد خود پایدارتر است. چون در این مارپیچ سطح انرژی هر جایگاه اسید آمینه در حدود چند دهم کیلوکالری برمول از نوع قرینه‌اش کمتر است. برخی از اسیدهای آمینه، به دلیل وضع انرژی‌یابی خود، تنها یک نوع مارپیچ می‌سازند. مثلاً Benzyle- L-Aspartat Poly-B- فقط مارپیچ چپ‌گرد می‌سازد. در مقابل Poly-y-Benzyle-Glutamate همیشه مارپیچ راست‌گرد تولید می‌کند.

خواص زیستی مواد طبیعی که دارای نوع خاصی از Chirality هستند هم با نمونه‌های مصنوعی عکسشان که در آزمایشگاه تولید می‌شوند، فرق دارد. اثرات زیستی این نمونه‌های عکس، معمولاً با هم بسیار تفاوت دارد. یکی از مشتقات نورآدرنالین به نام Isopropyle--[-] Norepinephrin دارای خاصیت گشادکردن مجاری تنفسی^{۵۷} است. ایزومر فضایی این ماده، یعنی Isopropyle-Norepinephrin-[+] در مقایسه با همین خاصیت را با شدتی 800 برابر نشان می‌دهد. نکته‌ی جالب اینکه حالت راسمیک، تنها نصف اثر نوع [-] را نشان می‌دهد.

داروهای انانتیومر هم می‌توانند در اثرات خود تفاوت‌های عمده‌ای را آشکار کنند. برخی از این داروها، نسبت به ایزومر نوری خود حالت مخالف Antagonist یا موافق Agonist نشان دهند. این اثرات متناقض داروهای نامتقارن می‌تواند گاه باعث بروز فجایی هم بشود. مثلاً S-[-]- Propanolol داروییست با اثر تحریک کننده سیستم آدرنالی^{۵۸}. انانتیومر این مولکول، یعنی R- Propanolol-[+] دارای اثر ضدحاملگی است. مخلوط راسمیک این دو شکل هم اثر ضدحاملگی از خود نشان می‌دهد. پیش از این هر دو شکل فضایی این دارو هاتولید می‌شدند و به

⁵⁷ Bronchodilatory

⁵⁸ Adrenergog

همین دلیل هم عده‌ی زیادی از زنانی که شکل $R-[+]$ این دارو را مصرف می‌کردند، دچار نازایی شدند. فاجعه‌ی تالیدومید **Thalidomide** هم به شکلی به همین شکست تقارن در داروهای انانتیومر مربوط می‌شد. تالیدومید، دارویی آرام‌بخش است که در شکل $R-[+]$ خود اثر بدی بر دوره‌ی باروری زنان نمی‌گذارد. ولی شکل عکس آن، یعنی **S-[-]-Thalidomide** دارای خاصیت **Teratogenic** است. به بیان دیگر، شکل $S[-]$ آن باعث ایجاد ناهنجاری‌های شدید در جنین می‌شود. ناآگاهی کارخانه‌های داروسازی از این تفاوت عملکرد، چند دهه قبل باعث بروز فاجعه‌ای در آمریکا شد. به این معنا که عده‌ی زیادی از زنان مصرف‌کننده‌ی این دارو، نوزادانی بدون دست و پا زاییدند.

دوم: شکست تقارن در سطح سلولی

تقارن موجود در سطح سلولی، در بسیاری از موارد شکسته می‌شود. اصولاً شکل‌گیری موجودات پر سلولی و تخصص یافتن یاخته‌ها برای تقسیم کار، نوعی شکست تقارن را به نمایش می‌گذارد. در ویروس‌ها، و باکتری‌ها، شکست تقارن تنها به مواردی بسیار محدود منحصر است. دارا بودن تازه در یک طرف بدن باکتریهای *Monotrichia* و یکتا بودن گیرنده‌ی برخی از ویروس‌ها، نوعی شکست تقارن محسوب می‌شود، ولی برجستگی و شیوع چندانی ندارد. از آنجا که شکست تقارن در سطح یاخته‌ای پدیده‌ای عام است، -به عامی تقارن دوطرفی در جانوران- پس زیاد به جزئیات نمی‌پردازم.

الف) در موجودات تک یاخته‌ای

ابتدایی‌ترین ردپاهای شکست تقارن را می‌توان در تاژکداران و *Dinoflagellata* می‌توان دید. در تاژکداران، فرد بودن تعداد تاژکها و پراکنش نامتقارنشان بر سطح بدن می‌تواند خروج از تقارن را باعث شود. مثلاً در تاژک خمیده و بدن پیچ‌خورده‌ی *Trypanosoma bruei* چنین طرحی را می‌توان مشاهده کرد. در *Dinoflagellata* وجود شاخها و زواید نامتقارن بر زره خارجی بدن موجود را می‌توان از مصادیق شکست تقارن محسوب کرد. در تاژکدار زره‌دار *Ceratium* که قبلاً هم مورد اشاره قرار گرفت، هم چنین حالتی را می‌بینیم.

در آمیب‌ها، که عنصر تقارن به دلیل عدم وجود قالب خارجی برای بدن نامشخص است، وجود اندامهای حرکتی ویژه را می‌توان به شکست تقارن نسبت داد. در این موجودات، پاهای کاذبی که از یک قطب بدن خارج می‌شوند و تغذیه و حرکت را موجب می‌شوند، به نوعی تقارن را در ریخت

کلی موجود در هم می‌شکنند. از میان دیگر نمونه‌های شکست تقارن در آغازیان، می‌توان به مژکدارانی اشاره کرد که از نظر پراکنش هسته‌های ریز **Micronucleus** یا درشت **Macronucleus** خود در سیتوپلاسم چنین خروج از تقارنی را نشان می‌دهند.

همچنین برخی از اندامکها در این موجودات هم چنین پدیده‌ای را به نمایش می‌گذارند. مثلا میکروتوبولها، که اسکلت درونی یاخته را می‌سازند و نقش انتقالی هم برای برخی از مواد هستند، از زیرواحدهایی تشکیل شده‌اند که مرتبا پلیمریزه و دپلیمریزه می‌شوند. این پیوستن و گسستن دائم، از نوعی پویایی انتشاری^{۵۹} پیروی می‌کند که در نهایت ریختزایی در یاخته‌ها را کنترل می‌کنند. این پیوستن و گسستن دائمی، نمونه‌ای است از مصداق حرکت در شکست تقارن. چنانکه در تمثیل فیزیکی تقارن عنوان کردم، هر حرکتی را می‌توان با نوعی شکست تقارن هم‌ارز فرض کرد. در اینجا هم دینامیک پویای زیرواحدهای توبولین که سازنده‌ی میکروتوبول‌ها هستند، همین پدیده را نشان می‌دهند. در این مورد که چه عامل یا عواملی تقارن توبولین‌ها را در سیستم اسکلت سلولی می‌شکند، نظریات بسیاری وجود دارد. حتی برخی از نظریات ردپای نیروی جاذبه را در این پدیده می‌بینند، و سیستم تعادلی توبولین/میکروتوبول را حساس به نیروهای ضعیف فیزیکی فرض می‌کنند. البته هنوز شواهد کافی برای رد یا قبول چنین نظریاتی وجود ندارد (Tabuny et al, 1992).

شاید جالبترین شکست تقارن در میان آغازیان، به شعاعیان مربوط باشد. شعاعیان، چنانکه گفتیم، در ریخت سیتوپلاسم خود نوعی تقارن مرکزی را نشان می‌دهند. این موجودات دارای اسکلت‌های کروی شکلی هستند که دارای سوراخهای فراوانی است. این سوراخها ارتباط بین

⁵⁹ Dissipative structure

بخش درونی سیتوپلاسم با بخش بیرونی را فراهم می‌کنند. در نهایت، اگر به اسکلت این موجودات نگاه کنیم، مجموعه‌ای از تیغه‌های شبیه به هم را خواهیم دید که در اتصال با یکدیگر چیزی شبیه به توپ فوتبال را در ست کرده‌اند. این تیغه‌ها، در بین خود سوراخهایی شش ضلعی و پنج ضلعی را ایجاد می‌کنند، که تعداد شش ضلعی‌ها بیشتر است. می‌دانیم که باء؛ ی از اشکال شش ضلعی تنها نمی‌توان سطح یک کره‌ی کامل را پوشانند. یعنی اگر بخواهید سطح کره‌ای را با کاشی‌کاری کنید، علاوه بر کاشیهای شش ضلعی، نیازمند کاشی‌های پنج ضلعی نیز خواهید بود. این شکل توپ فوتبال مانند، به دلیل نامنتظم بودن برخی از وجوهش، نوعی شکست تقارن را نشان می‌دهد. در عین حال که کره متقارن‌ترین شکل موجود است، شکل توپ فوتبالی، نشانگر شکست تقارن است. چون چنانکه گفتیم، همه‌ی وجوه آن برابر نیستند.

اشکال شبیه به شکل فوتبال را در سطوح سلولی و زیرسلولی بسیار می‌بینیم، اسکلت بسیاری از آغازیان به این شکل شبیه است، و اندامکهایی هم با این ساختار وجود دارند. مثلاً کلاترین نوعی پروتئین داخل سلولی است که هر واحدش به شکل سه میله‌ی متصل به هم است. این واحدهای سه شاخه، با اتصال به یکدیگر، شکلی شبیه به توپ فوتبال را می‌سازند که وزیکول‌های پوشش‌دار درون سلولی را ایجاد می‌کند و نقل و انتقال بعضی مواد را در داخل سیتوپلاسم هدایت می‌کند. لولو. چنانکه گفتیم، اسکلت بسیاری از شعاعیان هم چنین شکلی را از خود نشان می‌دهند. به عنوان یک مثال در این باره، می‌توان از *transformata Trypanosphaerna* نام برد. تقارن خاص توپ فوتبالی از مدتها قبل در این موجودات شناخته شده بوده. چنانکه ارنست هکل⁶⁰ در یکی از آثار خود وجود این ویژگی را در ساختار *Aulonia hexagona* خاطر نشان کرده است. همچنین در

⁶⁰ Ernst Haeckel

گرده‌های گیاهان هم این شکل خاص را زیاد می‌توان دید. کمی دقت در ساختار همه‌ی این نمونه‌ها نشان می‌دهد که در توپهای فوتبال طبیعی مورد بحث، سطوح پنج، شش، و هفت وجهی هم دیده می‌شوند. یعنی مشخص است که در همه‌ی این اشکال، شکست تقارن را می‌توانیم ببینیم.

تحلیل‌هایی چند برای نمایش شکل خاص مورد نظر وجود دارد. یک راه ریاضی قدیمی، این است که تلاش کنیم با دایره‌هایی هم قطر، سطح یک کره را بپوشانیم، با انجام این کار، می‌توان دید که در محل برخورد سطوح دایره‌ها، اشکالی پنج و شش ضلعی تولید می‌شود. نظم موجود در این چندضلعی‌ها از حد خاصی بیشتر نخواهد شد و همواره نوعی عدم تناسب بین پراکنش این اشکال را خواهیم داشت. اشکال به دست آمده به این روش را در ریاضیات **Polyhedron** می‌نامند.

یک راه دیگر، که در مبحث خودسازماندهی هم مورد اشاره قرار خواهد گرفت، با نام سلولهای بنارد⁶¹ شناخته می‌شود. اگر لایه‌نازکی از مایع را از زیر به شکلی همگن و متقارن گرم کنیم، به زودی جریانهای همرفتی⁶² مشخصی ایجاد می‌شوند. این جریانها، به دلیل حرکت آب گرم سبک به بالا، و آب سرد سنگین به زیر تولید می‌شوند. اگر بتوانیم با ریختن رنگ این جریانها را مشاهده کنیم، اشکالی را خواهیم دید که سطح مایع را پوشانده‌اند. این اشکال، دارای پنج، شش، و هفت ضلع خواهند بود و فراوانی شش ضلعی‌ها همیشه بیشتر خواهد بود. هر یک از این اشکال را یک سلول بنارد می‌نامند. در اصل در سلولهای بنارد، ما نوعی توپ فوتبال را می‌بینیم که بر سطح صافی گسترده شده باشد (Bushev, 1994).

در دانشگاه استنفورد، آزمایش جالبی انجام شده که به کار ما هم ربط پیدا می‌کند. در این آزمایش، کره‌ای فلزی را از نوعی موم پو شاندد و آنرا پس از حرارت دادن، در جایی با دمای ثابت

⁶¹ Benard's cells

⁶² Convection

قرار دادند تا سرد شود. موم مورد بحث از جنسی بود که سریعتر از فلز منقبض می شد، و به این ترتیب موم بر سطح کرومی فلز چروک خورد. این پدیده، یک توپ فوتبال مومی کامل را با همان اشکال شش ضلعی و انحرافات پنج و هفت ضلعی اش نمایش می داد. نتیجه اینکه اشکال توپ فوتبالی که در جهان آغازیان به فراوانی دیده می شوند، نمونه‌هایی عالی از شکست تقارن هستند. نمونه‌هایی که بدون نیاز به عوامل پیچیده، خود به خود زیر تاثیر دینامیک نیروهای موجود در محیط موجود، بروز چنین اشکالی را موجب می شوند.

ب) در موجودات پریاخته

در این موجودات، شکست تقارن پدیده‌ای عام است و عدم وجود آن باید حالتی استثنایی فرض شود. چنان که گفته شد، تخصص در بدن موجودات پرسلولی، و تقسیم کار در بین یاخته‌ها، مهمترین عامل شکستن تقارن است. ساده‌ترین شکل این پدیده، در یاخته‌هایی دیده می شود که به اصطلاح، قطبی هستند. مثلا یاخته‌های ترشح کننده‌ی آنزیم در داخل لوله گوارش، و لوزالمعده، دارای دو سطح مقابل به هم هستند. یک سطح، جایی است که یاخته را به غشای پایه‌ی زیرش می چسباند، و دیگری سطحی است که سلول ترشحات خود را از آن خارج می کند. این دو وجه مقابل هم، از نظر پراکنش اندامکها، غلظت سیتوپلاسم، نزدیکی به هسته، و عملکرد با هم تفاوت می کنند. نمونه‌ی دیگری از این پدیده را در نوروها می توان دید، که استطاله‌های تخصص یافته‌شان، بر حسب مکان خروج از پریکاریون، کارهای متفاوتی را انجام می دهد و اندامکهای مختلفی را در خود دارد. این تفاوت و شکستن تقارن، همان است که تمایز بین آکسون و دندریت را ایجاد می کند.

سوم: شکستن تقارن در سطح ریخت شناختی جانوران

الف: نرمتنان

اصل بحث ما، در این بخش و بخش‌های آتی خواهد بود. به همین دلیل هم تقسیم‌بندی‌های فرعی مطالب ارائه شده، مفصل‌تر خواهد شد. هدف از این بخش، فراهم آوردن شواهدی است در تایید این حدس که در جانوران پیچیده هم تقارن به اشکال جالب توجهی می‌شکند. پس از در نظر گرفتن این شواهد، امکان پرداختن به بحث کلی‌تری ایجاد خواهد شد.

در نرمتنان نمونه‌های کلاسیکی از شکست تقارن را در معنای ریخت‌شناسی کلمه می‌توان دید. رده‌ی شکم‌پایان^{۶۳}، که حلزون معمولی را هم در بر می‌گیرد، در دوران جنینی پدیده‌ی عجیبی را نشان می‌دهند که به چرخش^{۶۴} مشهور است. چرخش عبارتست از پیچ خوردن بدن و توده‌ی احشایی نسبت به سر. همه‌ی شکم‌پایان، در دوران جنینی دارای بدنی متقارن هستند. این تقارن دوطرفی تا مرحله‌ی لارو بادباندار^{۶۵} وجود دارد، ولی پس از آن با شروع تشکیل صدف تقارن از بین می‌رود. در گونه‌های قسیل این شکست تقارن وجود نداشته و تقارن در صدف هم برجا می‌ماند. تقارن دو طرفی بدن و صدف در شکم‌پایان قسیل با عنوان **Planospiral** مورد اشاره قرار می‌گیرد. منظور از صدف **Planospiral** صدفی است که دارای تقارن دوطرفی باشد، و پیچ‌های حلزونی صدفش، یکی در داخل دیگری قرار گرفته باشد. در این حالت صدف شکلی

⁶³ Gastropoda

⁶⁴ Torsion

⁶⁵ Veliger

مسطح و پیچیده پیدا می‌کند که مشابهش را در بسیاری از نمونه‌های حلزونها می‌بینیم. فسیل‌های شکم‌پایان هم دارای چنین صدف‌هایی بوده‌اند. صدف‌های شکم‌پایان باستانی Bellerophonacea همگی چنین تقارنی را از خود نشان می‌دهند. چنین امری به ویژه در فسیل جنس Strepsodiscus به خوبی دیده می‌شود.

با این وجود، در شکم‌پایان جدیدتر و عالی‌تر، این تقارن صدف از بین رفته است. این شکم‌پایان، در دوران جنینی خود یک چرخش 180 درجه را تحمل می‌کنند. به این معنی که اگر از بالا به صدف این موجودات نگریسته شود، یک چرخش نیم صفحه در توده‌ی احشایی مشاهده می‌شود. نکته‌ی جالب آنکه از زاویه‌ی دید بالا، همواره چرخش را در جهت پادساعتگرد⁶⁶ خواهیم دید. پس از این چرخش، اندامهای دفعی و تولیدمثلی موجود که تا آن هنگام به سطح پشتی موجود باز می‌شدند، در سطح شکمی و در بالای سر به بیرون می‌ریزند. این چرخش باعث می‌شود که لوله گوارش شکم‌پایان مزبور هم دچار پیچیدگی شود و شکلی Uمانند به خود بگیرد. در مورد علت بروز چرخش دلایلی فراوانی پیشنهاد شده، ولی تا به حال هیچکدامشان موفقیتی کسب نکرده‌اند. عام بودن چرخش در میان این موجودات نشانگر این مطلب است که انجام این چرخش به نفع موجود است. در حقیقت همه‌ی شکم‌پایان در دوران جنین چرخش را از خود نشان می‌دهند و در انواعی که صدف متفارن می‌بینیم، این تقارن دوباره در مسیر رشدی جانور حاصل می‌شود.

چرخش در شکم‌پایان نتایج فراوانی برجا می‌گذارد، چنانکه گفتیم، خارج شدن مسیر اندامهای جذبی و دفعی از حالت مستقیم، و خمیده شدن مسیر ورود آب و غذا به بدن، یکی از این پیامدهاست. نتیجه‌ی مهم دیگر چرخش، از بین رفتن تقارن دوطرفی در صدف است. این شکست

⁶⁶ Anti-clockwise

تقارن به وضوح نقش سازگاری مثبتی دارد. در صدفهای متقارن، به این دلیل که هر حلقه‌ی صدف در خارج دیگری قرار می‌گرفت، وزن صدف نسبت به احشایی که حفاظتشان می‌کرد، زیاد بود. همچنین در این موجودات به دلیل فشرده نبودن حلقه‌های صدف به هم، قطر زیادی برای جا دادن به احشای جانور مورد نیاز بود. ولی در صدفهای جدیدتر دارای چرخش، کنارهم قرار گرفتن حلقه‌ها نوعی صرفه‌جویی در مصرف مواد سخت و صدفی محسوب می‌شود. در این مدل، وجود یک محور به نام *Calumella* قرارگیری حلقه‌های صدف در زیر یکدیگر را ممکن می‌سازد. به این ترتیب شکل کلی صدف به کره نزدیکتر می‌شود. صدفهای نامتقارن مورد بحث، به شکلی بر بدن شکمپا قرار می‌گیرند که محور مورد بحث، بر محور تقارن دوطرفی قدیمی بدن موجود منطبق شود، و به این ترتیب هنگام حرکت حلزون، تقسیم وزن در دو طرف بدنش یکسان خواهد بود.

صدفهای مورد بحث، به شکلی خاص به دور خود می‌پیچند. اگر طوری به صدف شکمپایان نگاه کنیم که قله‌ی آن را در بالا ببینیم، حفره‌ی اصلی صدف را که محل ورود احشا به آن است، در سمت راست خواهیم دید. به این حالت قرار گیری سوراخ، حالت راست می‌گویند، و صدفی را که به این شکل باشد، راست گرد⁶⁷ می‌نامند. به جز چند استثنا، همه‌ی شکمپایان راست گرد هستند. البته در اینجا هم مثل سایر نقاط قلمرو زیست‌شناسی، استثنا دیده می‌شود. برخی از شکمپایان، مثل جنس *Bulinus* دارای صدف چپ گرد هستند، و گاه حتی در گونه‌های راست گرد هم نمونه‌های آینه‌ای چپگرد دیده می‌شود. این صدفهای استثنایی که محبوب کلکسیون‌داران موجودات دریایی هستند، از پدیده نادری همتای *Situs invertus* در انسان حکایت می‌کنند.

⁶⁷ Dextral

راست گرد بودن صدف حلزونها، مشکلاتی را هم برایشان در بر دارد. به دلیل نامتقارن بودن فضای داخلی صدف، جبهی Mantle موجود در سمت راست بدن موجود، را در فضایی که توسط محور و کناره‌ی حلقه‌های صدف اشغال شده، فشرده می‌شود. به همین دلیل هم آبشش، بطن قلب، و کلیه در سمت راست کوچک می‌شوند و یا اصلاً از بین می‌روند. همچنین دستگاه عصبی با چرخش احشا پیچ می‌خورد و برخی از گره‌های عصبی جفت، با یکدیگر متحد شده و گره‌های عصبی بزرگتری را می‌سازند.

در میان شکمپایان، انواع استثنایی دیگری هم علاوه بر حالت چپگرد دیده می‌شود. در گروهی از حلزونها، تقارن دوطرفی بار دیگر پس از چرخش حاصل می‌شود، یک نمونه‌ی مشهور از این موجودات، حلزون Planorbis است که ناقل کرمهای انگلی Schistosoma mansoni می‌باشد. همچنین در کل زیررده‌ی عقب‌آبش‌شها⁶⁸ هم پدیده‌ای به نام ضدچرخش Detorsion را می‌توان دید که در اصل همان برگشت تقارن بدن در حلزون است. این پدیده به صورت مرحله‌ای جنینی دیده می‌شود و جانور بالغ دارای تقارن است. جنین به این ترتیب از مرحله‌ای با ریخت بی‌تقارن عبور می‌کند. در برخی گونه‌ها اصولاً تقارن از بین رفته و صدف به شکل لوله‌ای پیچیده و بی‌نظم درآمد. چنین حالتی در اعضای خانواده Vermetidae دیده می‌شود. یک نمونه از این حلزونها، Serpularbis nuda است (Grzemeck, 1976).

در سایر نرم‌تنان، به ندرت شکست تقارن را به شدت شکمپایان می‌بینیم. در برخی از اعضای رده‌ی دوکفه‌ای‌ها⁶⁹، این شکست تقارن به صورت خمیدگی قله‌ی صدف به سمت راست مشهود است. مثل گونه‌ی Mercenaria mercenaria این خمیدگی راستگرد صدف شکست

⁶⁸ Opisthobranchia

⁶⁹ Bivalva

تقارن در یک محور را باعث می‌شود و با وجود آن می‌توان در محوری دیگر موجود را دارای تقارن دوطرفی دانست. همچنین تحلیل یا کوچک شدن یکی از صدفها و رشد بیش از اندازه‌ی دیگری را هم در برخی از گونه‌ها می‌بینیم. مثل اعضای روخانواده‌ی *Mytiloidae* در دوکفه‌ای‌ها، نوع دیگری از شکست تقارن هم دیده می‌شود و آن مربوط است به شکل عضلات متصل کننده‌ی دو کفه‌ی صدف به هم یا *Adductors* این عضلات، که یکی در جلو و دیگری در عقب وجود دارند، ممکن است از نظر اندازه و قدرت یکسان باشند، که در این حالت آن را *Isomyaria* می‌نامند. اعضای روخانواده‌ی *Arcoidea* چنین حالتی دارند. اگر یکی از این دو عضله بزرگتر از دیگری باشد، آن را *Heteromyaria* می‌نامند. معمولا عضله پشتی بزرگتر از جلویی است. چنین حالتی در *Mytilidae* دیده می‌شود. در حالت شدیدتر این عدم تقارن، یکی از عضلات -معمولا جلویی- از بین می‌رود و تنها عضله پشتی فعال باقی می‌ماند. این حالت را *Monomyaria* می‌نامند و مثلا در *Crassostrea virginia* دیده می‌شود.

ب) بندپایان

بندپایان، باتوجه به گوناگونی عظیم خود، از نظر تعداد و تنوع مهمترین موجودات زنده‌ی جانوری بر سطح زمین را تشکیل می‌دهند. در این موجودات، شکست تقارن به ندرت دیده می‌شود، ولی چند مثال کلاسیک در این مورد وجود دارد که به آن خواهیم پرداخت.

مهمترین شکست تقارن در بندپایان، در سخت پوستان عالی دیده می‌شود. خرچنگ منزوی - جنس *Pagurus* بهترین نمونه در این زمینه است. این خرچنگها بر خلاف حالت معمول سخت پوستان، شکمی نرم و کیتینیزه نشده دارند. از آنجا که وجود چنین نقطه ضعفی می‌تواند برای جانور مرگبار باشد، رفتاری جالب در این جنس شکل گرفته. این خرچنگها، به دنبال صدف خالی

شکمپایی می‌گردند و وقتی صدف مناسبی را یافتند، شکم خود را در آن فرو می‌کنند و در واقع از آن به عنوان سپری استفاده می‌کنند. نکته‌ی جالب اینکه این صدفها، چنانکه گفتیم را ستگردند، و بنابراین شکم جانور هم باید برای هماهنگ بودن با آن به سمت راست چرخش داشته باشد. در واقع همینطور هم هست و شکم این خرچنگها چرخش مشخصی را به سمت راست نشان می‌دهد. این موجودات تا آخرین دوره‌ی لاروی یعنی مرحله‌ی **Megalops** دارای تقارن هستند، ولی پس از آن به تدریج رشد بخش چپ بدن از سمت راست بیشتر می‌شود و چرخش شکم حاصل می‌شود. مقایسه‌های کالبدشناختی راهگشایی بین خرچنگ منزوی و خرچنگ معمولی که دارای تقارن است، انجام گرفته، که در اینجا به برخی از نتایج مهم آن اشاره می‌کنم. بخش شکمی خرچنگ معمولی دارای یک لوله عصبی مرکزی، دو پای شکمی **Pleopod** و شش گره عصبی شکمی است. در مقابل، در شکم خرچنگ منزوی، دو لوله عصبی کنار هم، یک پای شکمی، و تنها پنج گره عصبی دیده می‌شود. شاخه‌های اعصاب حرکتی که از بعضی از این گره‌ها خارج می‌شوند، به اولین پای شکمی طرف راست نمی‌روند و به این ترتیب از نظر عصب‌گیری هم تفاوت مشخصی بین دو طرف دیده می‌شود. همچنین تعداد عضلات بازکننده^{۷۰} و خم‌کننده^{۷۱} هم در دو طرف فرق می‌کنند. گره عصبی چهارم شکمی، در سمت راست کوچکتر از چپ است، و اندازه اعصاب منتهی به عضلات دوسوی بدن هم تفاوت می‌کنند. اعصاب حرکتی عضلات میانی^{۷۲} شکم خرچنگ منزوی در طرف راست چپ، قطری دو و نیم برابر راست دارند. برعکس، قطر اعصاب منتهی به عضلات میانی - شکمی در سمت راست دو و نیم برابر اعصاب همتای شان در طرف چپ است. همچنین

⁷⁰ Extensor

⁷¹ Flexor

⁷² Lateral m.

بسامد تنش این عضلات هم در سوی راست کمتر از چپ است. بسامد شلیک نورون‌های اعصاب حرکتی هم، در طرف چپ بیش از راست است. یک صدف معمولاً چیزی حدود ده برابر شکم یک خرچنگ منزوی وزن دارد. مدلسازی‌های کارکردی نشان می‌دهند که این ترکیب عضلانی-عصبی، برای موجودی با شکم آسیب‌پذیر، که باید بتواند در صورت بروز خطر به سرعت وارد صدف محافظش شود، بهینه است.

جنس دیگری که شکست تقارن را به خوبی در آن می‌توان دید، خرچنگ مو سوم به نوازنده^{۷۳} است. همه‌ی خرچنگهای نوازنده دارای دست‌های نامتقارنی هستند. این خرچنگها، که به جنس *Uca* متعلقند، تاپیش از سن بلوغ تقارن دوطرفی کاملی را از خود نشان می‌دهند، ولی در حین بلوغ، زیر اثر هورمون جنسی نرینه، یکی از دستهایشان بیش از دیگری رشد می‌کند. این دست بزرگ، که *Heterochelley* نامیده می‌شود، برای رفتارهای جفتگیری و جلب جنس ماده نقش دارد. خرچنگ نوازنده‌ی نر، با این دستش صداهایی را در شب تولید می‌کند که باعث جلب جفتش می‌شود. این دستهای بزرگ همچنین به عنوان وسایلی برای نبردهای تن‌به‌تن و نمایشی نرها بر سر یک ماده هم کاربرد دارند. همچنین به عنوان یک رفتار وابسته به جنس، نرها پیش از جفتگیری رقص یکنفره‌ای اجرا می‌کنند که وجود حرکات این دست بزرگ در آن نقش مهمی را داراست. در این دست بزرگ، عضلات بزرگتری دیده می‌شوند و اعصاب حرکتی منتهی به آنها هم قطر بیشتری دارند. حرکات پا‌های مربوط به یک بند در بیشتر سخت‌پوستان متقارن است، یعنی حرکت در یک پا، با حرکتی هم‌ارز در پای مقابل همراه است. در خرچنگ نوازنده، نشان داده شده که این حرکات در بعضی شرایط مستقل از هم می‌شوند.

⁷³ Fiddler crab

در میان حشرات، تقارن بسیار پایاتر و عامتر است و شکست آن به ندرت دیده می شود. با این وجود، نمونه‌ی مشخصی از شکست تقارن را می توان در موریانگان دید. در سه گروه از موریانگان، شکست تقارن را می توان دید. در هر سه گروه، چیزی که شکست تقارن را ایجاد می کند، نابرابر بودن آرواره‌های راست و چپ است. البته این پدیده در موریانگان مصداق‌های دیگری هم دارد، مثلا تعداد بندهای شاخک گهگاه در دو طرف برابر نیست. ولی مشخص‌ترین نمونه‌ها، به همان آرواره‌ها برمی گردد. در جنس *Pericapritermes* آرواره به قیچی شبیه است و هر دو آرواره خمیده و کج شده و با یکدیگر زاویه‌ای می سازند. در این موریانگان آرواره‌ها تقارن ندارند. در برخی از موریانگان دیگر، مثل *Hodotermes erithrensis* آرواره‌ها عدم تقارن خفیفی از خود نشان می دهند و آرواره‌ی یک طرف از سوی دیگر کمی بزرگتر است. این اختلاف اندازه در گونه‌هایی مثل *Peicapritermes dunicoli* بسیار شدت می یابد.

پ) سایر شاخه‌ها

در میان سایر شاخه‌های دارای تقارن مرکزی هم نمونه‌های دارای تقارن دوطرفی دیده می شوند. تبدیل تقارن مرکزی به دوطرفی، خود نوعی شکست تقارن است. در میان این نمونه‌ها، از همه مهمتر، خارپوستان هستند. لارو خارپوستان دارای زندگی آزاد و شناگر است. در این لارو، می توان تقارن دوطرفی مشخصی را بازیافت. لاروهای مزبور پس از رشد و تغذیه‌ی کافی، در یک جا ثابت شده و دگردیسی پیدا می کنند. در اثر این دگردیسی، دوباره تقارن شکسته می شود. به این معنا که کیسه‌های آبی *Hydrocoelum* موجود در بدن لارو، که سه جفت و متقارن هستند، به تدریج دگرگون شده و کیسه‌های سمت راست تحلیل می روند. در نهایت چیزی که باقی می ماند، کیسه‌های به هم جوش خورده‌ی سمت چپ هستند که به شکل دایره درآمده و تقارن مرکزی را در این

جانوران ایجاد می‌کنند. این تقارن مرکزی ثانویه هم خود می‌تواند دوباره شکسته شود. چنانکه دیدیم، خارپوستان رده‌ی *Clypeasterae* به دلیل دارا بودن حفره‌های جفت در اسکلت بدنشان، دارای تقارن دوطرفی می‌باشند.

ت) مهره‌داران

در مهره‌داران شکست تقارن به وضوح سایر موجودات دیده نمی‌شود. با توجه به اینکه مهره‌داران گروهی کوچک با تنوع اندک هستند، چنین امری چندان هم عجیب نیست. بهترین نمونه از شکست تقارن در مهره‌داران را می‌توان در ماهیان راسته‌ی *Pleuronectiformes* بازیافت. این ماهیان، چیزی هم‌ارز با چرخش نرمتنان را به نمایش می‌گذارند. این ماهیان، بدنی پهن و صاف و تخت دارند و بیشتر عمر خود را در حالی که در کف اقیانوس به سطح سنگها و شنها چسبیده‌اند، می‌گذرانند. اجداد این ماهیان، از وابستگان به گروه *Percoidea* بوده‌اند، و ردپای صفات این اجداد را در ابتدایی‌ترین ماهیان این راسته، یعنی خانواده *Psettodidae* می‌توان دید. بزرگترین ماهی از این گروه، هالیبوی غول‌آسا⁷⁴ نامیده می‌شود و در اقیانوس آتلانتیک شمالی زندگی می‌کند این ماهی 3 متر طول و 326 کیلو وزن دارد. بیشتر نمونه‌های دیگر طولی کمتر دارند و معمولاً در ابعاد کمتر از 10 سانتی‌متر هم دیده می‌شوند.

تقارن دوطرفه‌ی معمول در همه‌ی ماهیان، در لارو اعضاء این راسته هم دیده می‌شود. لاروها در این دوره به صورت آزاد شنا می‌کنند و به شکار موجودات ریز دریایی می‌پردازند. بعد از پایان

⁷⁴ Giant halibut

دوره‌ی لاروی، جانور دچار نوعی دگردیدی می‌شود، و تقارنش شکسته می‌شود. این دگردیدی با مهاجرت جانور به کف اقیانوس شروع می‌شود. ماهی پس از ثابت شدن بر روی شن‌ها، در چند مرحله اندام‌های موجود در یکسوی بدن خود را از دست می‌دهد. به این ترتیب که چشم یک‌طرف بدن به سوی دیگر مهاجرت می‌کند و با جای گرفتن در نزدیکی چشم سوی دیگر، نوعی چهره‌ی بی‌تقارن و ناقص را به حیوان می‌بخشد. دهان هم به نوبه‌ی خود کج می‌شود و به شکلی قرار می‌گیرد که حیوان بتواند بازوبسته کردن آن را تنها در یک سطح بدن انجام دهد. باله‌های پشتی، مخرجی، و سینه‌ای هم تغییراتی را نشان می‌دهند و در نهایت به صورت هلالی اطراف بدن را محصور می‌کنند. باله سینه‌ای طرف بدون چشم هم معمولاً به سوی دیگر کشیده می‌شود و در کنار باله‌ی طرف مقابل قرار می‌گیرد. همراه با این تغییرات، دگرگونی‌هایی هم در ابعاد بافت شناختی رخ می‌دهد. آن طرفی از بدن که دارای چشم‌ها و دهان است، به سطح پشتی بدن جانور تبدیل می‌شود و به موازات آن صاحب رنگی‌های^{۷۵} فراوانی در یاخته‌های سطحی خود می‌شود. این رنگی‌ها با کنترل عصبی و هورمونی ماهی، تغییر رنگی را ایجاد می‌کنند که باعث پنهان شدن حیوان در زمینه‌ی محیطش می‌شود^{۷۶}. در مقابل سطح دیگر بدن به سطح شکمی تبدیل می‌شود و همه‌ی رنگی‌های خود را از دست می‌دهد. در یک گونه، معمولاً همه‌ی افراد به راست یا به چپ گردش می‌کنند، ولی استثناهایی هم دیده شده که در آن اعضای یک گونه دو شکل رایج از چرخش را نشان دهند. در سایر مهره‌داران هم می‌توان شکست تقارن را دید. در مرغ معمولی، زاید‌های عرضی مهره‌های گردنی در سوی چپ بزرگتر از سمت راست هستند. علاوه بر این، در بیشتر پرندگان، تخمدان و مجرای تخمگذار در یک طرف از بین رفته و تنها در سمت چپ باقی مانده است. مثلاً

⁷⁵ Pigments

⁷⁶ Camouflage

در مرغ معمولی *Galus galus* چنین شکلی را می‌توان دید. نکته‌ی جالب اینکه اگر تخمدان چپ را در پرنده‌ای برداریم، تخمدان راست که رشد نایافته و ناقص مانده، رشد می‌کند و جای آن را می‌گیرد. یعنی می‌توان نوعی رابطه‌ی مهاری را به تخمدان چپ نسبت داد که از رشد تخمدان دیگر جلوگیری می‌کند. هم‌ارز این حالت در انسان و برخی از نخستی‌های عالی^{۷۷} هم دیده می‌شود. در انسان، به طور اخص، شکست تقارن در شکل قرارگیری اندامها به خوبی قابل مشاهده است.

در انسان نوک قلب به طرف چپ منحرف شده و در نتیجه حجم شش چپ از شش راست کمتر شده. قرارگیری کبد در سمت راست و معده در سمت چپ حفره‌ی سینه‌ای، باعث ایجاد نوعی کج‌شدگی در احشا شده، و موجب پایین‌تر قرار گرفتن کلیه‌ی راست شده است. این پایتتر بودن یک کلیه نسبت به دیگری، که ریشه در عدم تقارن و وضعیت اندامهای گوارشی دارد، در سایر مهره‌داران هم دیده می‌شود و مثلاً در موش آزمایشگاهی^{۷۸} شخص است. همچنین در بالاتنه‌ی آدم، استخوانها و عضلات در سمت راست بیشتر از چپ رشد کرده‌اند. البته این امر مربوط است به برتری نیمکره‌ی چپ، که نیمه‌ی راست بدن را کنترل می‌کند. با نگاه کوتاهی به جنین‌شناسی و زیست‌شناسی تکوینی مهره‌داران، می‌توان ده‌ها مورد از این شکستهای موضعی تقارن را یافت.

نخستین اندامی که در دوران جنینی مهره‌داران شکست تقارن را ظاهر می‌کند، قلب است. قلب که در اصل یک لوله‌ی عضلانی منفرد است، در اصل لوله‌ای عضلانی است که در دوران جنینی چین می‌خورد و چهار حفره‌ی قلب کامل را در پستانداران می‌سازد. تعداد و نوع این حفره‌ها در هر رده از مهره‌داران شکلی خاص به خود می‌گیرد. همچنین زمان پدید‌ه‌ی چین خوردن هم در هر گونه تغییر می‌کند. مثلاً در جنین انسان این پدیده در هفته‌ی چهارم بعد از لقاح روی می‌دهد.

⁷⁷ Simians

⁷⁸ *Ratus norvegicus*

همین چین خوردگی انحراف قلب به چپ و شکست تقارن دوطرفی اندامها را باعث می‌شود. علت اصلی پیدایش این خمیدگی در عضله‌ی قلب، و چین حاصل از آن، رشد بیشتر نیمه‌ی چپ قلب، نسبت به نیمه‌ی راست است. این رشد نابرابر، تغییر عملکردی مهمی را هم در قلب خزندگان، پرندگان و پستانداران موجب می‌شود. به این معنی که قلب چپ خون پراکسیژن را دریافت می‌کند و آن را به بدن می‌فرستد، و قلب راست خون تیره را می‌گیرد و آن را به ششها پمپ می‌کند. همچنین در دوزیستان *Urodela* مثل پستانداران، الیاف عضلانی دارای قدرت تپش در سمت چپ قلب قرار گرفته‌اند. ناگفته نماند که شکست تقارن مربوط به قلب، لزوماً در همه‌مهره‌داران دیده نمی‌شود. در قورباغه‌ها و کوسه‌ها، باوجود رشد جنینی بیشتر سوی چپ نسبت به راست، شکل کلی قلب متقارن است.

در انسان، حالات غیرعادی رشد جنینی فراوانند، و برخی از این حالات، در اثر اختلال در الگوی شکست تقارن مورد بحث به وجود می‌آیند. دو مثال مهم در این مورد وجود دارد. یکی از نمودهای مهم شکست تقارن در انسان، چنانکه دیدیم، انحراف نوک عضله‌ی قلب به سمت چپ است. اگر چین‌خوردگی قلب جنین در جهت عکس انجام شود، انحراف نوک قلب هم به سوی راست خواهد بود و حالتی به نام *Dexterocardia* را ایجاد می‌کند. اگر برعکس بودن جهات اندامهای داخل حفره‌ی سینه‌ای و شکمی تنها به قلب منحصر نباشد و همه‌ی اندامها را در بر بگیرد، حالتی ایجاد می‌شود به نام *Situs invertus*. در این حالت قلب در سمت راست، کبد در سمت چپ، و معده در سمت راست قرار می‌گیرند. این پدیده کمیاب است و تخمین زده می‌شود که بسامدش در جمعیت‌های انسانی $0/104\%$ باشد. در یک بررسی عظیم کالبدشناختی که در نروژ به کمک پرتو X بر 1800000 نفر از افراد کمتر از پانزده سال انجام گرفت، تنها 200 مورد از این پدیده مشاهده شد. نکته‌ی جالب اینکه بسامد افراد دارای قلب راست *Dextrocardia* کمتر از

افراد دارای *Situs inversus totalis* است. یعنی احتمال ایسنکه چرخش در همه‌ی اندامهای بدن رخ دهد، بیشتر است، تا اینکه فقط در قلب ایجاد شود. این امر از نوعی همبستگی بین اشکال متقارن حکایت می‌کند. به بیان دیگر، می‌توان از این شاهد، وجود دو بستر جذب مشخص را برای تقارن بدن موجودات زنده نتیجه گرفت. در فصل مربوط به بحث، بیشتر به این مفهوم خواهیم پرداخت.

در حالت عادی نیز، شکست تقارن در عناصر دستگاه گردش خون بسیار دیده می‌شوند. مثلاً در پرندگان قوس آئورت چپ از بین رفته، و تنها آئورت راست باقی می‌ماند، در پستانداران، این امر درست برعکس می‌شود. در ماهیان دهان‌گرد^{۷۹} هم مجرای کوویه^{۸۰} در یک سمت تحلیل می‌رود. مثلاً در *Mixinoidea* در طرف چپ، و در لامپری^{۸۱} در سوی راست باقی می‌ماند.

یکی از اعضای مهم دیگری که به وضوح نامتقارن است، عبارت است از غده‌ی صنوبری. این غده، عبارت است از دسته‌ای نورون که در بخش بالایی - جلویی مغز میانجی^{۸۲} قرار گرفته است. در واقع، طنابداران اولیه دارای چهار چشم بوده‌اند. دو چشم بالایی در طول تکامل تحلیل رفته و به صورت دو برجستگی نورونی در سقف دیانسفال در آمده‌اند. غده‌ی صنوبری در واقع یکی از همان چشم‌هاست. چشم دوم، به صورت غده‌ی *Parapineal* در پشت چشم نخست قرار گرفته. از این دو، غده‌ی صنوبری در بیشتر دوزیستان و برخی از خزندگان مثل *Sphonodon punctata* فعال مانده و اندازه‌ی بزرگتری دارد. ولی *Parapineal* در بیشتر جانوران تنها به

⁷⁹ Cyclostoma

⁸⁰ Ductus Cuvieri

⁸¹ Pteromyzonoidea

⁸² Diencephalon

صورت برجستگی کوچکی در آمله و کارکرد نوری خود را کاملاً از دست داده است (Hildbrand, 1988). به این شکل نوع دیگری از شکست تقارن را در اینجا می‌توانیم ببینیم.

یک نمود دیگر از بی‌تقارنی در هسته‌ی هابنولا^{۸۳} دیده می‌شود. این هسته که در پست غده‌ی صنوبری قرار دارد، توده‌ی عصبی جفتی است، که از سال 1899م شکست تقارن در آن شناخته شده بود. این هسته در قورباغه‌ها در سمت چپ دارای دو هسته، و در سوی راست تنها دارای یک هسته است. در لارو قورباغه، این بی‌تقارنی خفیف‌تر است و سمت چپ فقط یک باریکه‌ی سلولی بیشتر از راست دارد. در مارماهی^{۸۴} هم هابنولای چپ توسط تیغه‌ای از بطن سوم به دو بخش تقسیم شده که در هسته‌ی کوچکتر سوی راست وجود ندارد. در برخی از گونه‌ها، بی‌تقارنی در این هسته برعکس می‌شود. مثلاً در ماهی *Cyclothone acclinides* و ماهیان دهان گرد، هابنولای راست بزرگتر از چپ است. استثنائاتی هم برای این شکست تقارن وجود دارند، مثلاً در *Rana temporaria* هابنولای راست و چپ در هم جوش خورده و یکی شده‌اند. در دوزیست *Xenopus laevis* هم هابنولا دارای چندین لوب است، و ظاهری متقارن دارد.

گروهی از نتایج جالب درباره‌ی سرچشمه‌ی تقارن، به تجربیات فونوال وارث مربوط می‌شود. این دانشمند توانست با دستکاری جنین دوزیستان، در آنها حالت *Situs inversus* ایجاد کند. نکته‌ی جالب اینکه او وجود هسته‌ی هابنولایی غیرعادی را در نمونه‌های برعکس تشخیص داد. در این نمونه‌ها هسته‌ی طرف راست بزرگتر از طرف چپ است. این درحالی است که بین هابنولا و قلب و احشایی که برعکس می‌شوند، هیچ رابطه‌ی مستقیمی وجود ندارد. فرض اثرگذاری سیستم گردش خون بر این تقارن را هم می‌توان با این شاهد رد کرد: نشان داده شده که در دوزیستان

⁸³ Habenular nucleus

⁸⁴ *Anguilla* sp.

دارای قلب راست⁸⁵ که سایر اندامهایشان در جای طبیعی قرار دارد، با وجود تغییر کردن گردش خون مغزی، هابنولا به شکل معمولی در چپ بزرگتر می باشد.

چهارم: شکستن تقارن در سطح رفتاری - حرکتی

رفتارهای حرکتی، در همه‌ی رده‌های جانوران از جنبه‌ی وجود یا عدم وجود تقارن مورد بررسی قرار نگرفته. در اینجا من بحثم را بر پیچیده‌ترین شاخه‌های جانوری موجود محدود می‌کنم، و ذکر این نکته را لازم می‌دانم که شواهد موجود در این زمینه عمدتاً به همین دو شاخه مربوطند.

الف) بندپایان

در بندپایان، شکست تقارن در رفتار حرکتی به خوبی نشان داده شده. در حشره‌ی *fasciatus* *Oncopeltus* نشان داده شده که بسامد شلیک اعصاب حرکتی در پاهای سوم دوطرف، با یکدیگر برابر نیست. این جانوران، اگر تنها بر اساس عملکرد این اعصاب، و بدون اعمال کنترل خارجی حرکت می‌کردند، نوعی عدم تقارن را در مسیر خود نشان می‌دادند. البته در حالت عادی مسیر طی شده توسط این حشره مستقیم است، و علت این امر هم کنترل دارای بازخورد اعصاب گیرنده‌ی *Proprioceptive* بر پاها عنوان شده. همچنین وجود بازخورد بینایی هم در پایایی این تقارن نقش دارد. اگر حشره در حال حرکت را از داده‌های بینایی محروم کنیم، نوعی عدم تقارن در رفتارشان، و در مسیر حرکتش آشکار می‌شود. در ملخ در حال پرواز هم دیده شده که حذف

⁸⁵ Dextrocardia

بازخورد بینایی، چرخش به جهتی خاص را در پی خواهد داشت. این درحالی است که حذف بالهای عقب در ملخ، با وجود از بین بردن بخش مهمی از گیرنده‌های Proprioceptive تقارن در پرواز را از بین نمی‌برد.

ب) مهره داران

در مهره‌داران شواهد فراوانی در مورد شکست تقارن در سطح رفتاری وجود دارد. در پرندگان آوازخوان، و به ویژه در قناری، آزمایشهایی انجام شده که عدم تقارن را نشان می‌دهد. قناری نر، تا یک سال نخست عمر خود، می‌تواند با شنیدن آواز دیگران، آوازهای خود را اصلاح کند و به عبارتی آوازهای هم‌نوعان خود را یاد بگیرد. اگر قناری در این دوران به شکلی از یادگیری محروم شود، آوازهایی تولید می‌کند که با وجود دارا بودن الگوی کلی طبیعی، حاوی مکثها و نوفه‌های زیاد است. در پرندگانی که در این دوران کر می‌شوند و بنابراین از بازخورد شنوایی برای تصحیح آواز خود محرومند نیز چنین ایراداتی را دارند. آوازهای این پرندگان کوتاهتر از حالت عادی بوده، و نوفه‌هایی هیس مانند در میان آن دیده می‌شود.

اگر عصب حنجره‌ای-نایی⁸⁶ سوی راست و چپ پرنده‌ای قطع شود، علایم متفاوتی ایجاد می‌شود. قطع عصب راست تنها چیزی در حدود یک دهم سیلابهای موجود در آواز را مختل می‌کند، و در حالاتی اصلاً در الگوی کلی آن تاثیری بر جای نمی‌گذارد. در مقابل، قطع عصب طرف چپ تقریباً همه‌ی سیلابها را از بین می‌برد و آواز پرنده را مختل می‌کند. در این حالت پرنده با وجودی که در ظاهر رفتاری شبیه به زمان خواندن را انجام می‌دهد، ولی صدایی تولید نمی‌کند. حذف عضله‌ی حنجره‌ی سوی راست هم اثر چندانی بر آواز پرنده نمی‌گذارد. درحالی که عضله‌ی چپ

⁸⁶Tracheosyringialis: عصبی که حرکات نای و ششها و حنجره را در پرندگان آوازخوان کنترل می‌کند.

برای خواندن لازم است. یعنی در دستگاه حرکتی موجود، دوطرف بدن به شکلی نابرابر عمل می‌کنند.

در صورتی که پرنده در دو هفته‌ی نخست عمر دچار قطع عصب حنجره‌ای-نایی شود، به هنگام بلوغ خزانه‌ی آوایی شبیه به فرد عادی را دارا خواهد بود. یعنی پیش از یک زمان بحرانی، تخصص دستگاه عصبی مربوط به تنظیم آواز به قدری کم است که سوی راست هم می‌تواند آن را عهده‌دار شود. البته در این حالت هم بعضی تفاوتها در آواز مربوط به عضله و عصب راست با چپ قابل درک است. و مثلاً بسامد میانه‌ی تولیدی توسط حنجره‌ی فاقد عصب چپ، $5/2$ تا $2/4$ هرتز است، در حالی که همین مقدار برای سوی مقابل فقط به $25/1$ تا $4/2$ هرتز می‌رسد.

این بی‌تقارنی حتی در سطح مغز پرندگان آوازخوان هم دیده می‌شود. در مغز این جانوران، دو مرکز مهم برای کنترل آواز وجود دارد. یکی از این دو (^{87}HVC) نام دارد و دیگری (^{88}RA) خوانده می‌شود. اگر HVC طرف راست را در قناری‌ای تخریب کنیم، تنها 13 تا 35 آواز لطمه می‌بیند. این تفاوت به قدری کم است که یک گوش ناآزموده، آن را تشخیص هم نخواهد داد. گاهی مواقع این تخریب اصلاً اختلالی هم ایجاد نمی‌کند. در مقابل آسیب به HVC طرف چپ تقریباً همه‌ی آواز را از بین می‌برد. در این حالت تنها صدایی یکنواخت از پرنده شنیده می‌شود. در بهترین حالت یک سیلاب ممکن است باقی بماند. تخریب RA سمت چپ هم آثاری شدیدتر از سوی راست برجا می‌گذارد. تعداد سیلاب‌ها و زمان خواندن در تخریبهای طرف راست کمتر لطمه می‌بیند. به این جابجایی شدن در مغز پرندگان دیگر هم دیده می‌شود.

Hyperstriatum Ventral pars Caudalis⁸⁷

Nucleus Archistratus Robustus⁸⁸

ردپای شکست‌تقارن در رفتارشناسی تکاملی هم یافت می‌شود. مثلاً شواهدی دال بر این مطلب وجود دارد که در مهره‌داران گزینش جفت توسط جنس ماده تا حدودی به متقارن بودن سیستم تناسلی نر بستگی دارد. به بیان دیگر، ماده‌ها نری را بیشتر می‌پسندند که دستگاه تناسلی‌اش متقارن باشد. به کمک مدل‌سازی‌های ریاضی، نشان داده شده که این تقارن ربطی به باروری فرد نر ندارد. این امر با پژوهش‌های رفتاری دست کم در چند گونه اثبات شده است، و می‌توان آن را یکی از نمودهای گزینش جنسی^{۸۹} دانست.

در مهره‌داران عالی مانند انسان، این تفاوت در رفتارهای دوسوی بدن چشمگیر است. مثلاً در راه رفتن انسان، بی‌تقارنی‌های مشخصی وجود دارد. با وجود اینکه تقسیم وزن بدن بر پاها در محور پشتی شکمی^{۹۰} تقریباً متقارن است، می‌توان تفاوتی محسوس را در تفاوت توزیع وزن بر پاها در محور راست-چپ^{۹۱} مشاهده کرد. این انداختن وزن بدن بر یک پای خاص، تنها در زمان آغاز گام برداشتن انجام می‌گیرد و نمی‌توان آن را به توزیع وزن بر پا به هنگام ایستادن تعمیم داد. آزمایشات ساده‌ای می‌توان طرح کرد که در آن با حذف بازخورد تصحیح‌کننده‌ی سیستم بینایی، عدم تقارن پای چپ و راست مشخص می‌شود. اگر چشمان آدمی را ببندیم و از او بخواهیم در خطی صاف حرکت کند، انحراف منظمی را در مسیرش خواهیم دید. این بدان معناست که پای راست و چپ فرد در هرگام اندازه‌هایی یکسان را نمی‌پیمایند. همچنین مدل‌های برای بیان چگونگی تغییر رفتار حرکتی چهارپایی در جانوران، به دوپایی در انسان ساخته شده‌اند که تغییر فاز در دینامیک حرکتی عضلات و دوشاخه‌زایی حاصل از آن را مبنا گرفته‌اند. این مدل‌ها، که از اعتبار

Sexual selection⁸⁹

Sagittal⁹⁰

Frontal⁹¹

تئوری بالایی برخوردارند، شکست تقارن را به عنوان پدیده‌ای تعیین کننده در این جهش تکاملی مورد اشاره قرار می‌دهند (Kelso et al, 1992).

آشناترین جنبه‌ی عدم تقارن حرکتی در انسان، پدیده راست دست بودن است. چنانکه از شواهد باستان‌شناختی بر می‌آید، 90٪ کل انسانهایی که تا به حال بر روی زمین زیسته‌اند، راست دست بوده‌اند. راست دست بودن، بازتابی است از جانبی شدن⁹² نیمکره‌ها در انسان. این مفهوم به برتری یافتن کارکرد یکی از نیمکره‌های مغزی بر دیگری اشاره دارد. در انسانها، معمولا نیمکره‌ی چپ غالب است. حتی در 70٪ تا 60٪ افراد چپ دست هم نیمکره‌ی چپ برای تکلم غالب است. شواهدی هم در دست است که وجود دست‌ورزی در میمونهای بزرگ را نشان می‌دهد. مثلا همه‌ی هشت گوریل‌های کوهی⁹³ نری که توسط شالر مورد بررسی قرار گرفتند، حرکت نمایشی کوبیدن دست به سینه را با دست راست شروع می‌کردند. البته این گوریل‌ها هنگام غذا خوردن راست دستی مشخصی از خود نشان نمی‌دادند.

ذکر این نکته در همین جا لازم است که گوریلها از نظر آناتومیک هم نامتقارنند. در همین گوریل کوهی، عدم تقارنی را در جمجمه پیدا کرده‌اند. در بیشتر از نصف نمونه‌های تحلیل شده، طرف راست جمجمه حدود 2٪ کوتاه‌تر از سمت چپ است. این بی‌تقارنی در اندازه‌ی جمجمه طبعاً تفاوت در اندازه مغز را هم در پی خواهد داشت. چنین تفاوتی در اندازه‌های دو سوی راست و چپ جمجمه‌ی انسان هم وجود دارد. به این معنی که در انسان هم نیمه‌ی چپ جمجمه‌ی بیشتر افراد بزرگتر از نیمه‌ی طرف راست است.

Lateralization⁹²
Gorilla gorilla beringei⁹³

راست دست بودن، ربطی به عادت و آموزش ندارد. این پدیده بر مبنای یک برنامه‌ی وراثتی ظاهر می‌شود و عوامل محیطی تنها می‌توانند در جهت‌دهی یا تشدید و سرکوب آن نقشی ایفا کنند. حتی در کودکان نوزاد هم راست دستی دیده می‌شود. مثلاً نوزادان کمتر از سه‌ماهه، قبل از رها کردن یک صفحه‌ی پلاستیکی، آن را به مدت بیشتری در دست راستشان نگه می‌دارند، و دست چپشان همان صفحه را زودتر رها می‌کند. حتی در راست‌دست‌ها، تفاوتی در اندازه‌ی دستها را هم می‌توان دید. دست راست در افراد راست دست بزرگتر از دست چپ است، در حالی که در افراد چپ دست اندازه‌ی دو دست یکسان است.

پنجم: شکستن تقارن در سطح شناختی

اظهار نظر کردن درباره توانشهای شناختی موجودات غیرانسان بسیار دشوار است. در واقع، هیچ معیار محکمی برای درک سیستم مختصات معنایی جانوران غیرانسان وجود ندارد. به همین دلیل هم تمرکز اصلی بحث در این بخش بر انسان خواهد بود.

بحث درباره‌ی شناخت، بدون پرداختن به مفاهیم عصب شناختی، بی‌اساس خواهد بود. بر همین مبنا، پرداختن به شکست تقارن شناختی، زمینه‌ای از بی‌تقارنی در سطح نورونی را طلب می‌کند. عدم تقارن در مغز و دستگاه عصبی مرکزی، در دو مقیاس می‌تواند بررسی شود:

الف) شکست تقارن در سطح سلولی-مولکولی

سیستم بیوشیمیایی مغز در دو سوی راست و چپ تفاوت‌هایی مشخص را نشان می‌دهد. این تفاوتها، معمولاً در دو جنس یکسان نیستند. هورمون جنسی نر تستوسترون یکی از عوامل مهمی است که شکست تقارن بیوشیمیایی مغز را موجب می‌شود. بر اساس نظریه‌ی معروف گشویند، وجود این هورمون در دوران جنین، یک عامل مهم برای جانبی شدن نیمکره‌هاست. این نظریه با این شاهد که جانبی شدن در مغز زنان کمتر از مردان است، تایید می‌شود. همچنین نشان داده شده که بی‌تقارنی در پراکنش اسیدآمینوهای Neuromediator موجود در دو نیمکره‌ی مغز مردان بسیار بیشتر از زنان است. با وجود تفاوت در پراکنش مواد تنظیم کننده‌ی عصبی، چنین به نظر می‌رسد که متابولیسم هر دو نیمکره یکسان است. با توجه به اینکه نورونها فقط از گلوکز تغذیه می‌کنند، با اندازه‌گیری غلظت این ماده در نقاط مختلف مغز، می‌توان به شدت متابولیسم آن نقاط

پی برد. تجاربی که براین مبنا انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که مصرف گلوکز در هر دو نیمکره یکسان است.

اگر از زاویه‌ای شناختی‌تر به مغز نگاه کنیم، شکست تقارن را در دستگاه بینایی بازخواهیم یافت. چشم انسان، برای مرزبندی بین اشکال کنار هم، از مکانیسم جالب‌توجهی استفاده می‌کند. یکی از نمودهای این مکانیسم، نوارهای ماخ^{۹۴} است. این نوارها که به نام کاشفشان نامگذاری شده‌اند، به مرزی اطلاق می‌شوند که در بین دو سطح نورانی با مرز مبهم مشاهده می‌شود. مغز برای ایجاد مرز بین دو سطح دارای درخشندگی نزدیک به هم، نوع خاصی از پردازش در سطح شبکه‌ای را انجام می‌دهد که نتیجه‌اش نوارهای ماخ است. اخیراً دو فرضیه برای توجیه چگونگی تشکیل نوارهای ماخ پیشنهاد شده‌اند که هر دو مبنایی مشابه دارند. اساس هر دو این نظریات، بر فرض وجود یاخته‌های حساس به تقارن در شبکه استوار است. یعنی در هر دو تئوری، در مقابل یاخته‌های مشهوری مثل زاویه‌یاب و حرکت‌یاب، عناصری حساس به تقارن هم در نظر گرفته شده‌است. این یاخته‌ها، باید دو نوع باشند، یا لبه‌های تیز را تشخیص دهند، و یا لبه‌های مبهم را. آنها را در حالت اول فرد، و در حالت دوم زوج می‌نامند. این نامگذاری به حساسیت این یاخته‌ها به یک نقطه یا توالی نقاط فاقد یا واجد همتای متقارن اشاره دارد. آزمایشهایی وجود دارند که از یافته شدن یاخته‌های تقارن‌یاب مشابهی خبر می‌دهند و به این ترتیب مبنای سلولی - شبکه‌ای درک نوارهای ماخ را توجیه می‌کنند.

ب) شکست تقارن در سطح کالبدشناختی/ریخت‌شناختی

از نظر ریختی هم اختلافات مشخصی در دو نیمه‌ی راست و چپ مغز وجود دارد. اگر مغز را به صورت ماکروسکوپی نگاه کنیم، این اختلافات چندان محسوس نخواهند بود. ولی با اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر می‌توان شواهد جالبی به دست آورد. از مدتها پیش، شواهدی درباره‌ی اختلاف اندازه‌ی اجزای لوب گیجگاهی در دست بود. ناحیه‌ی *Planum temporalis* بخشی از لوب گیجگاهی مغز است که در کارکردهای زبانی هم نقش مهمی را ایفا می‌کند. پژوهشگران نشان داده‌اند که این بخش در 65٪ مردم در نیمکره‌ی چپ بزرگتر از نیمکره‌ی راست است. تنها در 11٪ مردم حالت عکس مشاهده می‌شود و بخش مورد بحث در راست بزرگتر از چپ است. در 24٪ باقی، اندازه‌ی این دو ناحیه یکسان است.

نکته‌ی جالب اینکه این بزرگی چپ نسبت به راست، در افرادی که هنگام نگاه کردن به دیگران می‌دانند آنها دارند به کجا نگاه می‌کنند، بیشتر است. اختلاف اندازه‌ی مورد نظر منشأ ژنتیکی دارد و به دلیل تمرکز کارکردهای زبانی در نیمکره‌ی چپ ایجاد نشده. یعنی در نوزادان سه‌ماهه‌ای هم که هنوز وارد مرحله‌ی زبانی نشده‌اند، چنین اختلافی دیده می‌شود. در 12 نوزاد از 14 نوزادی که توسط پژوهشگران کالبد شکافی شده بودند، این اختلاف دیده می‌شد. در این نوزادان *Planum temporalis* طرف چپ حدود دو برابر سمت راست بود. یکی از عوامل تعیین کننده برای تخمین اندازه‌ی این بخش، طول شیار سیلویوس است. در انسان شیار مورد نظر در سمت راست حدود 14٪ از سمت چپ کوچکتر است. در شامپانزه^{۹۵} هم چنین اختلافی دیده می‌شود، ولی مقدار آن

کمتر است. در این موجود شیار سیلیویوس راست تنها 5٪ کوچکتر است. در میمونهای Prosimian چنین اختلافی مشهود نیست.

دستگاه تصویربرداری با تشدید مغناطیسی^{۹۶}، ابزاری بسیار کارآمد برای سنجشهای کمی در عصب شناسی است. به کمک این وسیله، می توان حجم بخشهای مختلف مغز زنده را اندازه گیری کرد. به کمک همین وسیله، شواهدی درباره ی شکست تقارن ریخت شناختی مغز به دست آمده است. با وجود متقارن بودن بیشتر بخش های جفت مغز، نشان داده شده که بطن کناری در سمت چپ بزرگتر از راست است، و بادامه^{۹۷}، Lateral ventricle و Neocortex در سمت راست کمی از چپ بزرگترند. شکست تقارن در دو جنس تفاوت عمده ای را نشان نمی دهد، ولی اختلافات وابسته به جنس در اندازه ی بخشهای مغز وجود دارد. مثلا نشان داده شده که به طور کلی مخچه ی مردان از زنان حجیمتر است. به این ترتیب، این شواهد فرضیه ی مربوط بودن این بی تقارنی با جنسیت را تقویت نمی کنند. همین ابزار، توانسته نشان دهد که با حرکت از محور آهیانه ای^{۹۸} به پس سری^{۹۹}، بی تقارنی موجود در اجزای نیمکره ای کاهش می یابد. یعنی اگر از این وسیله از مغز فرد سالمی، تصاویر عرضی بگیریم، نوعی کاهش یکنواخت در تقارن را در طول محور پیشانی-پس سری^{۱۰۰} خواهیم دید.

شکست تقارن آناتومیک بخشهای مغز در برخی از بیماری های روانی-عصبی هم دیده می شود. پژوهشگران با تکنیکهای عکسبرداری MRI نشان داده اند که در کودکان مبتلا به بیماری

Magnetic Resonance Imaging =MRI⁹⁶

Amygdala⁹⁷

Parietalis⁹⁸

Occipitalis⁹⁹

Coronal¹⁰⁰

نشانگان توره^{۱۰۱}، تقارن در عقده‌های قاعده‌ای تغییر می‌کند. در این تحقیق همه‌ی افراد شاهد 18 نفر در سوی چپ دارای هسته‌های Putamen و Lenticular nucleus بزرگتری نسبت به طرف راست بودند. ولی از میان 37 بیمار، هسته‌های طرف راست 17 نفر نسبت به طرف چپ بزرگتر بود. همچنین در بیماران مبتلا به ناهنجاری توجه همراه با فعالیت زیاد^{۱۰۲}، اندازه‌ی Globus palidus در سمت راست خیلی بزرگتر از چپ بوده و مثل مورد قبل، حجم هم در طرف راست بر سمت چپ برتری نشان می‌دهد است. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که عدم تقارن بخشهای دستگاه عصبی مرکزی، تنها به قشر مخ محدود نبوده و در هسته‌های زیرقشری هم دیده می‌شود. این شواهد، نشان می‌دهند که این عدم تقارن و اختلالات آن، می‌تواند به عنوان برگه‌هایی برای توصیف بیماری‌ها هم کاربرد داشته باشد.

پ) شکست تقارن در سطح کارکردی

حافظه، یکی از مهمترین کارکردهایی است که در سطح شناختی به مغز نسبت داده می‌شود. می‌دانیم که حافظه، جایگاهی متمرکز ندارد و در واقع نظم شبکه‌ی نورونی مغز و قوت ارتباطات آنها، همان است که حافظه را می‌سازد. نشان داده شده که حافظه‌های موجود در دو نیمکره با یکدیگر تفاوت می‌کنند. شواهدی در دست است که وجود چنین شکست تقارنی را حتی در میمون‌ها تایید می‌کند. در یک آزمایش، یک میمون ماکاک نسبت به تحریک قشر بینایی یک نیمکره‌اش شرطی شد. این جانور در حالت عادی به تحریکات مشابه بر نیمکره‌ی دیگرش هم به

Tourette's syndrome¹⁰¹

Attention deficit Hyperactivity disorder=ADHD¹⁰²

همان خوبی نیمکره‌ی آموخته شده پاسخ می‌داد. ولی پس از قطع بخش پیشین رابط پینه‌ای Splenium این توانایی از بین رفت. یعنی حافظه‌ی موجود در یک نیمکره، تنها در همان طرف جایگیری شده و پاسخهای دوطرفی با انتقال اطلاعات از راه رابط پینه‌ای ممکن می‌شوند. همچنین در همین میمون‌ها نشان داده شده که وجود Splenium به تنهایی برای انتقال پاسخ ترس آموخته شده به یک نیمکره، به بادامه‌ی نیمکره مقابل و ایجاد واکنش کافی است. در انسان به نظر می‌رسد که حافظه‌ی کلامی بیشتر در نیمکره‌ی چپ و حافظه‌ی فضایی در نیمکره راست متمرکز شده باشد. این شواهد، این نظریه را تایید می‌کنند، و مدلی حیوانی برای آن به دست می‌دهند.

بی‌تقارنی در درک اصوات و رمزگشایی گفتار و اسناد معنا به ریتم و آهنگ، از کارکردهای مهمی هستند که شدیداً در مغز جانبی شده‌اند. نشان داده شده که در دستگاه شنوایی با حرکت از سطح گوش خارجی، به سوی قشر مخ، شکست تقارن را به شکلی برجسته‌تر می‌توان دید. این امر به ویژه در برخی از سیستم‌های بازخوردی نمود می‌یابد. مثلاً می‌دانیم که سیستم شنوایی، با اطلاعات خود از گفتار خود فرد، بازخوردی مهم برای تصحیح گفتار ایجاد می‌کند. این امر در مرحله‌ی ابتدایی خود، یعنی در سطح عضلات گوش، دارای تقارن کامل است. در این سطح مهمترین کاری که انجام می‌گیرد، تنظیم شدت انقباض این عضلات است، نسبت به بسامد و شدت صوت ورودی. این مقدار با توجه به صدای هرکس تفاوت می‌کند ولی معمولاً از دامنه‌ی خاصی تجاوز نمی‌کند. در مرحله‌ی بعد، داده‌های شنوایی از عصب هشتم مغزی به تالاموس منتقل می‌شوند و در آنجا کمی پردازش شده و برای خودآگاه شدن، به قشر مخ می‌روند. در سطح تالاموس، کمی بی‌تقارنی در در مغز دیده می‌شود. به این معنی که تالاموس چپ و راست گرایش خاصی نسبت به داده‌های مختلف نشان می‌دهند. این گرایش، و بازخورد مربوطه، که باز تا حدی به بسامد صدا

وابسته است، در سمت راست و چپ یکسان نیست. در سطح قشر شنوایی مخ یا لوب گیجگاهی^{۱۰۳} این شکست تقارن شکلی برجسته به خود می‌گیرد. در این سطح قشر شنوایی در دو نیمکره تخصص آشکاری را نسبت به آواها نشان می‌دهند. لوب گیجگاهی چپ در اکثر افراد کارکردهای مربوط به زبان و گفتار را رهبری می‌کند، و در مقابل قرینه‌ی همین بخش در سمت راست بیشتر به تحلیل ریتم‌ها و آهنگها و موسیقی صداها می‌پردازد. این تخصص در زنان کمتر از مردان است، و به همین دلیل هم زنانی که پس از یک سکته‌ی مغزی مربوط به لوب گیجگاهی، توانایی تکلم را از دست می‌دهند، کمتر از مردانی هستند که همین عارضه را دارند. با این وجود در هر دو جنس آسیب مغزی به لوب گیجگاهی نیمکره چپ، بسیار بیشتر از راست توانایی تکلم را کاهش می‌دهد. عملاً حذف نیمکره راست صدمه‌ی چندانی به توانایی درک و تولید گفتار نمی‌زند.

شواهد نشان می‌دهند که به طور آماری، آسیب به نیمکره چپ در چهار سال اول زندگی کودک، بیشتر راست نقایص زبانی ایجاد می‌کند. البته این امر در همه‌ی مقاطع زمان کودکی به یک اندازه صادق نیست. سن بحرانی برای توانشهای کلامی حدود دو سال است. یعنی اگر کودکی پیش از دو سالگی بخش گیجگاهی نیمکره چپ خود را از دست بدهد، می‌تواند کارکردهای آن را به نیمکره راست منتقل کند و توانایی گفتار را همچنان حفظ کند. ولی اگر پس از این سن آسیبی به گیجگاه نیمکره چپ وارد شود، امکان رفع آن به کمک سخت‌افزار نیمکره راستی ممکن نخواهد بود. در افرادی که به دلیلی دچار نقص در سیستم گیجگاهی نیمکره چپشان هستند، انواع گوناگون زبان‌پریشی **Aphasia** را می‌توان دید.

ولی قشر مخ تنها مکان ظهور شکست تقارن عملکردی در مغز انسان نیست. این غلبه‌ی نیمکره‌ای در سطوح زیرقشری و حتی تالاموسی هم دیده می‌شود. حذف هسته‌ی شکمی-کناری^{۱۰۴} در تالاموس چپ انسان، اختلال در دسته‌بندی نمادها، روانی کلام، و خلاقیت معنایی در زبان را به دنبال دارد، در حالی که آسیب مشابه در تالاموس راست چنین نتیجه‌ای ندارد. در مقابل، نشان داده شده که توانایی شناسایی افراد از روی لباس و چهره، به شکلی متقارن در هر دو تالاموس توزیع شده است. ناگفته پیداست که تالاموس تنها یک ایستگاه انتقالی برای داده‌های مربوطه است و اختلالات ناشی از حذف هسته‌های آن، بر کارکرد شناختی‌ای هم‌ارز قشر مخ دلالت نمی‌کند.

رابط پینه‌ای، همواره به عنوان مهمترین راه انتقال اطلاعات از یک نیمکره به نیمکره‌ی مجاور، مطرح بوده است. این مسیر عصبی که از 250 میلیون فیبر عصبی تشکیل یافته، در زنان ضخیمتر از مردان است. این مسیر می‌تواند کلید هماهنگی رفتار در موجودی باشد که دو نیمکره‌ی متفاوت دارد. اختلال در کارکرد این رابط، می‌تواند بعضی از اختلافات بین دو نیمکره را آشکار سازد. مدل حیوانی برخی از بیماری‌های عصبی-رفتاری انسان را می‌توان با قطع رابط پینه‌ای به وجود آورد. مثلاً نشان داده شده که کودکان مبتلا به بیماری نشانگان نقص خفیف مغزی^{۱۰۵} رفتاری مشابه با گربه‌های بدون رابط پینه‌ای دارند. قطع رابط پینه‌ای در بچه‌گربه‌ها، باعث ایجاد این علائم می‌شود: کم شدن توجه، اختلال در یادگیری، و پاسخ غیرعادی به آفتاب‌تاب‌ها. در کودکان بیمار هم دقیقاً چنین علائمی دیده می‌شود. یک نمونه کلاسیک از رابطه‌ی دو نیمکره، توسط اسپری ارائه شده. او برای درمان عوارض صرع، رابط پینه‌ای برخی از بیماران را قطع می‌کرد. نتیجه این بود که اگر چشم

Ventrolateral nucleus¹⁰⁴

Minimal Brain Dysfunction Syndrome=MBDS¹⁰⁵

بیمار دوپاره مغز^{۱۰۶} مزبور را می‌بستند و شیئی آشنا را در دست راستش می‌گذاشتند، می‌توانست آن را نام برد، ولی با دست چپ قادر به این کار نبود. یعنی حافظه‌ی کلامی موجود در یک نیمکره چپ، نمی‌توانست به نیمکره‌ی دیگری که اطلاعات پساوایی را دریافت می‌کرد، برود.

ششم: علل شکست تقارن

می‌توان دلایل فراوانی را برای شکست تقارن ذکر کرد. در واقع هریک از سطوحی که مورد بررسی قرار گرفت، نیازمند دسته‌ای جداگانه از دلایل برای این پدیده است. اگر خواهیم بحث را تنها به موجودات زنده، و آنهم حالت کلی و عام محدود کنیم، باید تنها دو دسته از دلایل را مورد توجه قرار دهیم، نخست عامل ژنومی، و دوم عامل محیطی.

الف) عامل ژنومی شکست تقارن

نخستین ایده‌ای که به ذهن می‌رسد، این است که شکست تقارن هم، مانند خود تقارن پدیده‌ای ژنومی باشد. می‌دانیم که خود متقارن بودن موجود زنده به طور مشخص ریشه‌ی وراثتی دارد. به بیان دیگر، سلسله روابطی که اطلاعات ژنومی را به سطح ریخت‌شناختی و رفتارشناختی موجود متصل می‌کنند، تقارن را به عنوان یک معیار معمول، در خود نهفته دارند. حتی در گونه‌هایی هم که ظاهراً تقارنی ندارند، مثل غلافداران اسیدی بنیان ژنومی تقارن در بعضی مقاطع رشد و نمو قابل تشخیص است. یعنی حتی نمونه‌های غیرمتقارن هم برنامه‌ریزی ژنومی آشکاری برای تقارن دارند و در نهایت آن را به عللی از دست می‌دهند. به این ترتیب می‌توان تقارن را یکی از دستاوردهای همیشگی سیستم ژنتیکی موجودات زنده دانست. نکته‌ی مهم در اینجا این است که ماده‌ی وراثتی هر گونه، معمولاً ساخت‌آزمیهایی را رهبری می‌کند که خود نامتقارنند، یعنی شکست تقارن به روشنی در آنها دیده می‌شود. ولی همین آزمیهای نامتقارن، در نهایت موجودی متقارن را با کارکردهایی تکراری می‌سازند.

همانقدر که ردپای تقارن در ژنها آشکار است، ریشه‌های شکست تقارن در آن مبهم است. چنانکه گفتیم، اصولاً خصلت ساخته‌های دست اول mRNA و دست دوم پروتئینها ماده‌ی وراثتی، نامتقارن‌اند. با این وجود، آنچه که از هم‌افزایی همه‌ی این عوامل حاصل می‌آید، ساختاری متقارن است. یعنی اگر نقش عوامل محیطی را نادیده انگاریم، با بررسی ژنوم یک موجود، باید ریختی متقارن را برایش پیش‌بینی کنیم. ولی می‌دانیم که این حدس در بسیاری از موارد نادرست است و شکست تقارن بسیار دیده می‌شود. دستکاری‌های ژنوم برای ایجاد عدم تقارن هم معمولاً نتایج مثبتی به همراه ندارد. یک مثال مشهور این که ایجاد موتان‌های نامتقارن در مگس سرکه کاری بسیار دشوار است.

ولی با این وجود، برخی از ریشه‌های شکست تقارن را می‌توان در ژنوم پیگیری کرد. گویا مهمترین عامل شکست تقارن در سیستم عصبی انسان، هورمون نرینه باشد. می‌دانیم که سنتز و رهایی این هورمون از یک برنامه‌ی دقیق ژنتیکی پیروی می‌کند. مشابهاً چنین عواملی را در شکست‌های تقارنی که در خرچنگ منزوی، خرچنگ نوازنده و ماهی *Pleuronectus* وجود دارد نیز می‌توان دید.

همچنین در رشد بخش راست و چپ بدن جنین نیز بی‌تقارنی‌هایی وجود دارد. اسپمان، در آزمایش‌های اولیه‌ی خود نشان داده که توانایی تمایز سمت راست بدن جنین، کمتر از سوی چپ آن است. او توسط بستن یک مو، بدن یک جنین دوزیست را از محور پشتی-شکمی به دوبخش تقسیم کرد. نتیجه آن شد که هر نیمه، یک دوزیست کامل تولید کرد که در خط وسط به نیمه‌ی دیگر چسبیده بود. همچنین اسپمان دید که گاهی تقارن نیمه‌ی راست این دوقلوی سیامی مختل می‌شود،

و به صورت آئینه‌ای^{۱۰۷} درمی‌آید. در حالی که این امر در نیمه‌ی چپ معمولاً رخ نمی‌دهد و جهت‌گیری اندامها در این سمت معمولاً طبیعی است. این امر از طرفی نقش کم‌عامل ژنومی را در جهت‌دهی به جنین نشان داد. چون دیده شد که هر نیمه‌ی بدن می‌تواند کل بدن را ایجاد کند. از سوی دیگر، این حقیقت که توانایی تمایز و جهت‌گیری در دو سو برابر نیست، امکان نوعی مزاش ژنومی را برای شکست تقارن مطرح کرد. آزمایشات بعدی، نشان داد که اگر در جنینی خط پشتی-شکمی و محور سری-دمی مشخص باشد، دست و پاهایی که دو طرف محور طولی بدن شکل می‌گیرند، به دلیل دینامیک ویژه‌ی اندامزایی، لزوماً نسبت به هم دارای تقارن آئینه‌ای خواهند بود. بخشهای چپ و راست اندامهای جنین هم دارای قدرت رشد و تمایز یکسان نیستند. در پرندگان، قلبی که از کشت بخش چپ قلب جنین حاصل می‌شود، در 96٪ موارد بزرگتر از کشتهای به دست آمده از طرف راست است. همچنین موفقیت کشتهایی که از قسمت چپ بافتهای جنینی تیروئید، چشم، گوش، کبد، و مغز تهیه می‌شوند، از طرف دیگر بیشتر است. همه‌ی این شواهد، در تایید این فرضیه‌اند که شکست تقارن در موجودات زنده، مانند خود تقارن، توسط عوامل ژنومی کنترل می‌شود.

ب) عامل محیطی شکست تقارن

اولین طرح جدی نقش محیط در شکست تقارن، توسط اسپمان در اوایل قرن حاضر انجام گرفت. او توانست با بریدن قطعه‌ای از قشر جنین دوزیست و چرخاندنش به اندازه‌ی 180 درجه، نمونه‌های قرینه‌ی آئینه‌ای مصنوعی ایجاد کند. به این ترتیب نشان داده شد که به هم خوردن تقارن موجود، می‌تواند تنها بر اثر عوامل محیطی دوران جنینی ایجاد شود. شواهدی از این دست، به

Situs inversus¹⁰⁷

شکل‌گیری ایده‌ی اطلاعات وابسته به وضعیت منجر شد. بر مبنای این نظریه، اطلاعات مربوط به وضعیت مکانی اندام‌ها^{۱۰۸} در یاخته‌ی تخم^{۱۰۹} می‌توانند در مراحل رشد و نمو، شکست تقارن را موجب شوند. یکی از شواهدی که این نظر را تایید می‌کند، عبارتست از پدیده‌ی تسهیم مارپیچی^{۱۱۰}. در کل جانوران، دو نوع تسهیم وجود دارد. نخست تقسیم یاخته‌ی تخم با زوایای 90 درجه نسبت به تقسیم قبلی است، که این حالت را تسهیم عمودی هم می‌نامند. حالت دیگر، زمانی است که هر تسهیم، در زاویه‌ای بین 90 درجه و 180 درجه انجام شود. در این حالت تقارن توده‌ی سلولی حاصل از تسهیم به هم می‌خورد و یاخته‌های نتیجه شده از یک سری تقسیم، به شکل مارپیچی در کنارهم قرار می‌گیرند. شکل مارپیچی مورد نظر، از تغییرات منظم زاویه‌ی انحراف تقسیمات ایجاد می‌شود. یعنی در این حالت، تقسیمات یکی در میان به شکل ساعتگرد و پاد ساعتگرد دیده می‌شوند. این نوع خاص از تسهیم، تنها در کرم‌های حلقوی، *Nemertians* و نرم‌تنان دیده می‌شود. بقیه‌ی موجودات جانوری دارای تسهیم عمودی هستند. دست کم در مورد یک گونه از نرم‌تنان *Limnaea peragra* نشان داده شده که الگوی تسهیم ربطی به ژنوم جنین ندارد و تنها به ژنوم مادر و تخمک وابسته است.

در جنین ابتدایی جانوران، فعالیت ژنوم موجود تا قبل از دهمین تقسیم سلولی بسیار اندک است. تا اواسط دوره‌ی بلاستولا *RNA Blastula* سازی و بنابراین پروتئین سازی در یاخته‌های جنین در کمترین حد خود هستند. می‌دانیم که ژنوم از راه تولید پروتئین‌های ویژه آثار خود را ظاهر می‌سازد، و بنابراین با حذف این حلقه‌ی میانی، اثری از عمل ژنوم نخواهیم دید. آکتینومایسین^{۱۱۱}، که

Positional information¹⁰⁸

Oocyte¹⁰⁹

Spiral cleavage¹¹⁰

Actinomycin¹¹¹

آنتی‌بیوتیکی با اثر مهاری بر پروتئین سازی، بر رشد و تمایز جنین تا این دوره اثری ندارد. تسهیم مارپیچی هم، که نمودی است از شکست تقارن، در پیش از رسیدن به مرحله‌ی بلاستولا انجام می‌گیرد. تجربیاتی که بر روی حلزون *Ilyanassa* انجام گرفته‌اند، نشان می‌دهند که آکتینومایسین تسهیم مورد نظر را در آنها مختل نمی‌کند.

شواهد دیگری هم برای تایید غیرژنومی بودن شکست تقارن در جانورشناسی وجود دارد. مثلاً در بریوزوای *Botryllus Schlosseri* که قلبش در سمت راست قرار دارد، جهت بی‌تقارنی وابسته به کلنی‌ای است که *Zooid* را به آن پیوند می‌زنند. یعنی یک موجود منفرد از این گونه، به جای آنکه بی‌تقارنی مشابه کلنی مادر خود را به ارث برد، خود را با جهت کلنی‌ای که محل زیستش را تشکیل می‌دهد، سازگار می‌کند. نوعی قاب‌بال به نام *Bruchus quadripunctata* هم شواهدی را در نقض منشأ ژنومی شکست تقارن به دست می‌دهد. ماده‌ی این قاب‌بال بر پشت بالهای خود چهار نقطه‌ی سیاه دارد که دو به دو به طور متقارن در کناره‌ها قرار گرفته‌اند. نوعی موتان در این گونه موجود دارد که در آن دو نقطه‌ی یک طرف به رنگ قرمز در می‌آیند. جالب اینکه احتمال راست یا چپ قرار گرفتن این نقاط سرخ، با یکدیگر برابر بوده و معادل 50٪ است. نتیجه این که، با وجود منشأ ژنومی جهش منتهی به شکست تقارن، تعیین جهت دقیق ریخت این بی‌تقارنی به شانس بستگی دارد و توسط ژنها کنترل نمی‌شود. همین شواهد برخی از محققان را به این نتیجه سوق داده که شکست تقارن، امری است مستقل از ژنوم، و وابسته به شرایط اولیه‌ی یاخته‌ی تخم و اندامکهای آن.

به این ترتیب، می‌توان شواهد مربوط به علت شکست تقارن را در این سطور خلاصه کرد:

شکی در این امر وجود ندارد که شکست تقارن منشأ ژنومی دارد. همه در این موضوع همداستانند که الگوی اساسی شکست تقارن، و پدیده‌های عام ناشی از آن مثل برتری نیمه‌ی چپ بر راست در

برنامه‌ریزی ژنومی ریشه دارند. بحث بر سر این است که جهت‌گیری نهایی این شکست تقارن را هم ژنها کنترل می‌کنند، یا نه. در این مورد دو دسته نظریه وجود دارد. نخستین گروه، کلیه‌ی ریزه‌کاری‌های انحراف از تقارن را زیر اثر مستقیم ژنوم می‌بینند. این افراد، برای محیط، اصالت قایل نیستند و سلسله‌مراتبی را که ژنها در یک انتهایش هستند و ویژگی‌های ریختی در انتهای دیگر، کامل و خودکفا می‌دانند. گروه دوم، نقش اصلی را به محیط می‌دهند و آنچه را که جهت‌گیری نهایی در شکست تقارن می‌دانیم، ناشی از شرایط اولیه‌ی تعریف نشده در سطح ژنومی می‌دانند. به نظر نگارنده، این دو گروه بار دیگر افراط و تفریط معمول در نظریات زیست‌شناسی، را به نمایش می‌گذارند. در هر دو دسته نظریه، مفاهیم معقول زیادی وجود دارد و چنان‌گونه دیدیم شواهد هم برای تایید هر دو مورد وجود دارند. ما می‌دانیم که دینامیک پیچیده‌ای بر رفتار سیستم‌های پیچیده‌ی زیستی حاکم است. و می‌دانیم که در این سیستمها، یک یا چند عامل معدود، به تنهایی نمی‌توانند جوابگوی تنوع رفتار سیستم باشند. یک سیستم زنده، که حالا در مقطع ریخت‌شناسی اش مورد بحث ماست، مجموعه‌ای است از روابط علا و معلولی درهم تنیده، که بر اساس یک بسته‌ی اطلاعاتی فشرده به نام ژنوم بنا شده‌اند. این سیستم هم مانند همه‌ی نظامهای پیچیده، در مسیر گذار از سطحی به سطح دیگر، شدیداً زیر تأثیر عوامل محیطی در می‌آید. دینامیک آشوبی، مفهومی آشنا در زیست‌شناسی است، و وجود چنین پدیده‌ای، وابستگی رفتار سیستم به شرایط اولیه‌ی ناچیز، - ولی مهم- را نشان می‌دهد. آنطور که از شواهد بر می‌آید، شکست تقارن، در سطح ژنومی برنامه‌ریزی می‌شود. نگارنده حدس می‌زند که حتی برتری چپ هم امری ژنومی با شد، چرا که آن را به شکلی عام در اکثر گونه‌ها می‌بینیم. در عین حال، نمی‌توان در این امر شک کرد که ریزه‌کاری‌های این شکست تقارن، و الگوی نهایی حاصل شده از رشد و نمو موجود، به هزاران عامل غیرقابل محاسبه‌ی دیگر هم بستگی دارد. در بسیاری از موارد، اختلالات یا تغییرات موجود در کل الگوی

شکست تقارن را، می‌توان به حساس بودن سیستم نسبت به شرایط اولیه ترجمه کرد. ولی در کاربرد این معنا باید دقت کرد. تنها در جاهایی می‌توانیم حساسیت به شرایط اولیه را عنوان کنیم، که برگه‌هایی در تایید آن به دست آید، و هیچ شهادی مبنی بر ژنومی بودن الگوی در دست، وجود نداشته باشد.

بخش سوم: بحث و نتیجه‌گیری

زیبایی، شکستن عمدی بخشی از تقارن است.

گفتاری از ذن

تقارن، پدیده‌ای مهم است. هدف این نوشتار، تا به اینجا این بوده که شواهدی در راستای تایید اهمیت این پدیده فراهم آورد. آنچه که از این به بعد خواهد آمد، کمی خارج از محدوده‌ی شواهد خواهد بود. در اینجا، بیشتر به گمانه‌هایی خواهیم پرداخت که انگیزه‌ی اولیه‌ی من در نگاشت این سطور بود.

باید نخست از خود مفهوم تقارن و اصالت آن آغاز کنیم. تقارن پدیده‌ای است که در همه‌ی سطوح دیده می‌شود. آن را در فیزیک ذرات بنیادی هم، با همان تعریفی که در زیست‌شناسی کردیم، می‌توان دید. به نظر می‌آید که تقارن، از ویژگی‌های بنیادی سیستم‌های مادی باشد. ولی وجود تقارن، چنانکه گفتیم، به ناظر خارجی وابسته است. هر جسم نامتقارنی، اگر با سرعت کافی در اطراف محوری دوران کند، متقارن به نظر می‌رسد. یک مثال عینی اینکه مولکول پنتافلوئورید فسفر PF₅ تا وقتی که با تکنیک MRI عکسبرداری می‌شد، دارای پیوندهایی با طول برابر و متقارن دیده می‌شد. ولی وقتی همین مولکول را با تکنیک پراش الکترونی^{۱۱۲} - با سرعت عکسبرداری ده برابر MRI مشاهده کردند، درازای پیوندها را نابرابر و کل مولکول را نامتقارن یافتند. یعنی درک تقارن،

Electron diffraction¹¹²

امری است مستقل از وجود تقارن، و تقارن تا حدی که ما می‌دانیم، تنها به دلیل وجود ماست که وجود دارد.

اگر بخواهم کمی فلسفی‌تر همین گفته‌ها را تکرار کنم، باید بگویم تقارن، یک پدیده‌ی ذهنی است، نه عینی. یعنی نمی‌توان بدون تعاریف قراردادی وجود آن را در نظر گرفت. به این ترتیب، یک نکته مشخص شد: ممکن است جهان خارج متقارن نباشد، بلکه این ذهن ما باشد که از پشت یک عینک متقارن بین! همه چیز را متقارن می‌بیند. این امر، با وجود عجیب بودنش، مهم است. نباید فراموش کنیم که تقارن یافت شده در همه‌ی سطوح و همه‌ی سیستم‌ها، نوعی قرارداد ما بر جهان هستند. تقارن یک نمونه از مصداق قوانین کانتی است، که توسط بشر بر طبیعت تحمیل می‌شود.

ذکر این نکته تنها برای دقیق‌تر شدن بحث بود. از آنجا که تقارن به دلیل عام بودن، و مربوط بودن به چندین شاخه‌ی علمی تا حدودی خصلت فلسفی دارد، لازم است که پیشاپیش جایگاه تعریف شده برای آن را در سیستم معنایی خودمان بیابیم. نگارنده، خود را فردی عینی و واقع‌گرا می‌داند. بنابراین این پیش‌فرض را در نظر می‌گیرد که آنچه را که ما به عنوان تقارن در جهان خارج می‌بینیم، به نوعی در جهان واقع هم مصداق دارد. این پیش‌فرضی است که به گمان من در همه‌ی مباحث مربوط به تقارن گنجانده می‌شود. تاکید بر آن در اینجا بیشتر به این دلیل است که گهگاه دیده می‌شود از این پیش‌فرض نقدا شده، نتایجی بزرگ گرفته می‌شود که ممکن است جای بحث داشته باشد. تا جایی که معیارهای عینی آزمایشگاهی حاکم باشند، در پذیرش این امر که تقارن معیاری خارجی هم دارد، خطری نیست.

با پذیرش وجود این مصداق خارجی برای تقارن، به سطح دیگری از تحلیل می‌رسیم. پدیده‌ای اینچنین عام، باید لزوماً بازتاب اصلی کلی در ساختار نهادین ماده باشد. پرداختن به راست و دروغ

این نتیجه‌گیری، امری است مربوط به فیزیکدانان و شیمی‌دانان، و در این نوشتار نمی‌گنجد. آنچه در اینجا بیشتر مورد نظر است، پدیده‌ای است که به فراوانی به همراه تقارن دیده می‌شود. و آن هم شکست تقارن است. اگر تقارن را به عنوان خصلت عام ماده بپذیریم. باید شکست آن را هم به همان اندازه معمول بپنداریم. اگر دقیقتر سخن بگوییم و چنین فرض کنیم که در جهان خارج خصلتی عام وجود دارد که توهم مفهوم تقارن را در ما ایجاد می‌کند، باز هم باید بپذیریم که خصلت عام مشابه دیگری هم هست، که توهم شکست تقارن را به همان فراوانی ایجاد می‌کند. به بیان دیگر، تقارن و شکست تقارن دو مفهوم همراه هستند.

چنانکه دیدیم تقارن در سیستم‌های زنده هم عمومیت دارد. تقریباً همه‌ی گونه‌ها، یکی از چهار شکل تقارنی را که عنوان شد، دارا هستند. حتی موجودات بی‌تقارنی مانند آمیبا هم، آنگاه که چیزی مانند زره را تولید می‌کنند، تقارن را به نمایش می‌گذارند. موجودات بی‌تقارنی مانند طنابداران غلافدار هم در دوران لاروی خود تقارن دوطرفی بی‌نقصی را به نمایش می‌گذارند. جهان زنده، در پایه و اساس، جهانی متقارن است. با این همه، آنچه که در زیست‌شناسی بیشتر جلب نظر می‌کند، شکست تقارن است، نه تقارن. در واقع نوشتارها و کتابهایی که خود پدیده تقارن را در جانداران مورد بحث قرار می‌دهند، بسیار کمتر از آنهایی هستند که به شکست آن می‌پردازند. این امر دلایل محکمه‌پسندی هم دارد. چنانکه گفتیم، جهان متحرک، جهانی است که تقارن در آن شکسته باشد، و پویایی سیستم‌های زنده هم خود نمادی است از عام بودن بی‌تقارنی ثانویه در جانداران.

تبدیل تقارن مرکزی به دوطرفی، خودنوعی شکست تقارن است. اگر بخواهیم بر مبنای شواهد بحث کنیم، باید بگوییم که تقارن مرکزی تنها در موجودات دارای زندگی ثابت، و نوع محوری در گونه‌های متحرک دیده می‌شود. شاید تنها مثال نقض برای این حرف، عروسهای دریایی باشند. حتی در باکتری‌ها هم نمونه‌های متحرک همیشه تقارن دوطرفی دارند. پس نخستین شکل شکست

تقارن در موجودات زنده، ایجاد تقارن دوطرفی است. موجودی که حرکت می‌کند، لزوماً در جهتی پیش خواهد رفت، و بنابراین پشت و جلو در بدنش معنا خواهد داشت. موجودی که در حال حرکت است، باید بتواند در کوتاهترین زمان ممکن بیشترین اطلاعات را در مورد محیطی که در آن حرکت می‌کند، به دست آورد. به همین دلیل هم طبیعی است که در سیر تکامل، اندامهای حسی و گیرنده‌های اطلاعاتی موجود در بخش جلویی بدن متمرکز شوند. این تمرکز، تمرکز دستگاه پردازنده‌ی اطلاعات را هم به دنبال خواهد داشت، و به این ترتیب مغز پدید می‌آید. همه‌ی موجودات پرسلولی دارای تقارن مرکزی، فاقد مغز به معنای واقعی کلمه هستند، و تنها حلقه‌هایی از اعصاب تخصص نیافته دارند. از آنجا که یکی از تعاریف پیچیدگی توانایی تولید تنوع رفتاری بالا است، و مغز متمرکز این توانایی را به موجودات می‌بخشد، می‌توانیم بگوییم که موجودات دارای تقارن دوطرفی از نمونه‌های دارای تقارن مرکزی پیچیده‌ترند. این امر در مورد موجودات هم‌ارز از نظر رده‌بندی راست است. به این ترتیب، حرکت فعال، و پیچیده‌تر شدن موجود در پی آن، عامل اصلی شکستن تقارن مرکزی، و ایجاد تقارن محوری است. جالب اینکه در نمونه‌هایی که از نظر تکاملی تقارن دوطرفی دارند، ولی زندگی ثابت و غیرفعال را برگزیده‌اند، بازگشت به تقارن مرکزی دیده می‌شود. سخت‌پوستان وابسته به رده‌ی تاژک‌پایان نمونه‌های خوبی در این موردند.

شکست تقارن، تخصص ایجاد می‌کند. همانطور که شکست تقارن مرکزی تخصص یافتن بدن به دو بخش متمایز جلو-پشت را موجب شد، شکست تقارن محوری نیز تمایز راست-چپ را به ارمغان می‌آورد. به این ترتیب می‌توان شکستن تقارن را با پیچیده‌تر شدن سیستم موجود زنده هم‌تأثر فرض کرد. مثالهای فراوانی که در زمینه‌ی جانورشناسی آورده شدند، و شواهد فراوان دیگری که در عصب‌شناسی و رفتارشناسی انسانی وجود دارند و تنها مورد اشاره قرار گرفتند، همگی این ادعا را تایید می‌کنند. نتیجه‌ی مهمی که می‌خواهم از شواهد موجود بگیرم، این است که تقارن، حالتی

عام است، با منشأ بنیادین نهفته در سطوح زیراتمی. و شکست تقارن، حاصل تخصصی شدن و پیچیدگی یافتن سیستمهای حاصل از این ماده‌ی متقارن است. همانطور که ماده، از سطوح زیراتمی گرفته تا ستارگان و کهکشانها، تقارن دارد، شکست تقارن را هم دارد. به موازات تقارن، شکست آن را هم می‌توانیم ببینیم. به ویژه در سیستمهای زنده، که پیچیده‌ترین نظامهای مادی بر سیاره‌ی ما هستند، این شکست تقارن نمودی برجسته می‌یابد. از ریزمولکولهایی مانند اسیدآمینه و هیدروکربن گرفته، تا مواد وراثتی و آنزیمها، همه دارای انحرافات از تقارن کامل هستند. شاید این انحرافات، و کارکردهای پیچیده‌تر وابسته به آنها، رمز معمای حیات باشد.

تقارن، همگنی و یکنواختی است، و شکست آن، سرچشمه‌ی تفاوت و تمایز. شکست تقارن، به این شکل آنتروپی را کاهش می‌دهد، و اطلاعات می‌سازد. بر مبنای تئوری اطلاعات، شکست تقارن را به سادگی می‌توان با آنتروپی منفی، و به این ترتیب با اطلاعات هم‌ارز گرفت. از آنجا که سیستمهای زنده، سیستمهایی با هویت اطلاعاتی مشخصند، و پردازش و داده‌آمایی از ویژگی‌های عام همه‌ی آنهاست، ریشه‌ی شکست تقارن را می‌توان در تحلیل‌های اطلاعاتی موجودات زنده هم دنبال کرد. سیستمهای خودسازمانده، و نظامهای پیچیده‌ی با صفات زنده یا شبه زنده، دارای توانایی زیاد کردن محتوای اطلاعاتی خود هستند. این توانایی معمولاً در ترمودینامیک و بیوفیزیک، به اشتباه به عنوان نقض قانون دوم ترمودینامیک در نظر گرفته می‌شود. اینجا مجال آن نیست که علت این اشتباه بودن را شرح دهیم، ولی نکته‌ی مهم اینکه همین برداشت هم می‌تواند به شکست تقارن ترجمه شود. سیستمی که نگانترپی -یا اطلاعات- خود را افزایش می‌دهد، کاری نمی‌کند جز بیشتر کردن ناهمگنی‌ها، و بنابراین شکستن تقارن.

اگر به سطوح دیگر پیچیدگی هم نگاه کنیم، شباهتهایی را بازمی‌یابیم. در سطح شناختی، دینامیک رفتار حرکتی و بخش مهمی از فعالیتهای شناختی، توسط پدیده‌ی شکست تقارن توجیه می‌شود.

دینامیک هر زیر سیستم شناختی در مغز، مانند هر نظام پیچیده‌ی دیگری، دارای جذب کننده است. در اینجا نمی‌خواهم به بر خالی بودن جذب کننده‌های سیستم عصبی و آشوبناک بودن برخی از رفتارهای آن پردازم، هر چند جای ذکر آن هست. تنها چیزی که در اینجا مهم است، این حقیقت است که جذب کننده‌های شناختی مربوط به یک حس خاص، می‌توانند درجات مختلفی از تداخل و رقابت با یکدیگر را آشکار کنند. برخی از پدیده‌های شناختی، ایجاد هم‌توانی بین دو جذب کننده را در پی دارد. و به گمان من، در همین جاست که در موجود، تردید را می‌بینیم. تردید، شاید همین برابر شدن کشش دو یا چند جذب کننده، در مورد یک محرک باشد.

یک محرک بینایی، بسته به نوع و پردازشش، معمولاً به یک جذب کننده‌ی ویژه میل می‌کند، و شناخت مفهوم معرف آن جذب کننده را موجب می‌شود. یعنی به صورت یک مثال خام، می‌توان گفت که در سیستم پردازنده‌ی بینایی هر آدم، به تعداد مثلاً واژه‌هایی که می‌داند، جذب کننده وجود دارد. دیدن هر محرک بینایی خاص، دینامیک سیستم شنا ساگر بینایی را به سوی جذب کننده‌ی خاصی هدایت می‌کند، و به این ترتیب شناخت آن چیز - که محرک نماد آن است - حاصل می‌شود. در برخی از اشکال ساده‌ی دوپهلوی، دو جذب کننده به یک اندازه دینامیک سیستم شنا ساگر را به خود جلب می‌کنند. یکی از ساده‌ترین این اشکال مکعب نکر^{۱۱۳} است. این مکعب را به دو شکل می‌توان دید. در برخورد با آن، دو جذب کننده‌ی مربوط به دو حالت مختلف دیدنش، به زوری مشابه دینامیسم مغز را به خود می‌کشند، و به این ترتیب تردید در تشخیص آن حاصل می‌شود. مثال دیگر، دختر/پیرزن است که همین مسیر را در شناخت القا می‌کند. اشکال دوپهلوی، و هم‌ارزهای دیگرشان - مثل واژگان دوپهلوی، احساسات دوپهلوی، و... - حالات استثنایی حضور تقارن

در فرآیند شناخت را نشان می‌دهند. کمیاب بودن این نمونه‌ها نسبت به تجربیات روزانه، نامتقارن بودن دینامیسم شناخت را تایید می‌کند.

به همین ترتیب می‌توان گفت همانطور که تردید، نماد وجود تقارن در میان برخی از جذب کننده‌های دینامیک مغزی است، تصمیم و تشخیص هم نمودی از شکست تقارن در این سطوح است. وقتی که ما تصمیم می‌گیریم یک کار را انجام دهیم یک رفتار حرکتی، با تشخیص می‌دهیم که فلان محرک نورانی یک گربه است رفتار حسی-شناختی، در واقع داریم تقارن را در دینامیک سیستم عصبی خود می‌شکنیم.

این تقارن، و شکست تقارن، در ابعاد شناختی مصداق فراوان دارند. ایهام در ادبیات، نمونه‌ای از تقارن معنایی در زبان است. این عنصر، یکی از عناصر مهم برای خنده‌دار جلوه کردن جوک‌ها هم هست. همچنین نظریات معتبری وجود دارند که برخی از عناصر زبانی دیگر مانند استعاره و کنایه را با توجه به تقارن و شکست تقارن توجیه می‌کنند. شیوه‌ی هنری کلاسیسیسم در نقاشی، پیکرتراشی و معماری، نمودی از تقارن در هنرهای جهان کهن است. ذکر این نکته مفید است که از 17 گروه ریاضی متقارنی که مورد اشاره قرار گرفت، اشکال نماینده‌ی 13 گروه را در کاشیکاری‌های کاخ الحمراء در اسپانیا می‌توان دید.

تحلیل‌های جالبی در مورد مکانیسم‌های موثر در زیبا نمودن یک اثر هنری انجام شده که ردپای تقارن را در آن نشان می‌دهد. نشان داده شده که وجود تقارن در یک اثر هنری، برانگیختگی فرد ناظر را افزایش داده، و با ایجاد کنجکاوی و جذب بیشتر اطلاعات از داده‌های بینایی در دسترس، لذت او را موجب می‌شوند. بنا بر این تحلیل‌ها، یک اثر هنری که دارای پیچیدگی کافی برای اقتناع کنجکاوی ناظر باشد، و در ضمن با هماهنگی و تقارن موجود در اجزایش برانگیختگی را ایجاد کند، زیبا محسوب می‌شود. شواهد فراوانی برای تایید این نظریه وجود دارد. مثلا نشان داده شده که

شرکت کنندگان در یک تست روانشناسی رورشاخ حرکات چشم خود را در راستای زیرپوشش گرفتن عناصر متقارن تنظیم می‌کنند. همچنین ترکیبهای به دست آمده از آثار نقاشی آبستره، که دارای درجات گوناگونی از تقارن در خود بودند، به قضاوت افراد عادی، با بالا رفتن تقارنشان زیباتر می‌نمودند.

در موسیقی هم عناصر متقارن زیادند. موسیقی‌های ضربی با ریتم چهار و شش، که از عامترین ریتمهای موجود در بین همه‌ی فرهنگها هستند، نسبت به محور زمان متقارند. همچنین شواهد موجود نشان می‌دهند که نوار مغزی (EEG) افراد در ناحیه‌ی هیپوکامپ تفاوت بین آوای متقارن موسیقایی، و غیرمتقارن ناموسیقایی را باز می‌تاباند.

بررسی‌های زیبایی‌شناختی بر آثار هنری سبک روکوکو و باروک نشان می‌دهند که با وجود شکست تقارن عمدی در آنها، نوعی تقارن پویا در آنها وجود دارد. چنین تقارنی را در نقاشی‌های خاور دور به خوبی می‌توان دید، در این سبکهای هنری هم، در پیروی از ضرب‌المثل ذن، شکست تقارن ایجاد فضاهایی متقارن را ممکن ساخته است. تقارن در هنر ایرانی مصادیق بسیار دارد. در هنر تذهیب، کاشی‌کاری، و معماری سنتی ایرانی، نمودهای تقارن را به خوبی می‌توان دید. این امر در ساخت معرق‌ها و مقرنس‌های تزئینی به صورت قانونی درآمده و تخطی از آن نوعی خام‌دستی محسوب می‌شود. چنین عناصر متقارنی را در قالی‌های ایرانی، و همچنین زیلوها و گلیمهای فرهنگهای دیگر هم می‌توان دید. در این تقارن‌خواهی انسان تنها نیست، لانه‌های مورچگان و موریانگان، ظاهراً نوعی تقارن مقیاسی را نشان می‌دهند، و تارهای عنکبوت‌ها هم، تقارن مرکزی دارد. اینجا لزومی نیست که از دست ساخته‌های همه‌ی جانوران سخن به میان آورده شود. وگرنه می‌توان از لانه‌های پرندگان، زره‌های مصنوعی لارو حشرات راسته‌های Neuroptera و Plecoptera و ... هم نام برد. می‌بینید که تقارن، نه تنها در جهان زنده، بلکه در جهان تولیدات این

موجودات نیز مصداق فراوان دارد. شاید با کمی دقت، بتوانیم شکست تقارن را هم در این ساختارهای مصنوعی، به موازات پیچیده‌تر شدن‌شان، ببینیم.

ایده‌های مطرح شده در این نوشتار هنوز جای بحث بسیار دارند. مقصود نگارنده، تنها ذکر برخی از احتمالات بود، که با بررسی پدیده‌ی تقارن در سیستم‌های زنده، به ذهن‌خطور می‌کند.

سخن آخر اینکه، باید در این مورد بیشتر اندیشید. تقارن مهم است.

- شلگل، ه. گ، میکروبیولوژی عمومی جلد اول، ترجمه دکتر اشرف السادات نوحی، -
1367 انتشارات دانشگاه تهران.
- صائبی، ایماریهای عفونی در ایران بیماری‌های ویروسی، - 1364 ناشر: مولف، تهران.
- کالات، ج. و، روانشناسی فیزیولوژیک جلد اول، ترجمه اسماعیل بیابانگرد و احمد علی پور، -
1373 نشر دانشگاه شاهد. - تهران.
- ملک‌زاده، ف. و دکتر شهامت، م، میکروبیولوژی عمومی، - 1371 انتشارات شهرآب، تهران.
- مور، ک. ل، تکامل جنینی انسان، ترجمه دکتر علیرضا فاضل، هاله‌ی حبیبی، مهنوش فروغی،
1371 انتشارات اسفند، مشهد.
- هریس، و، موریا نه‌ها، ترجمه دکتر ابراهیم سلیمان‌نژاد، - 1370 مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
- وکیلی، ش، بررسی مکانیسم خندیدن در اثر شنیدن جوک. - 1374 انتشارات داخلی موسسه
پژوهشی خیزش اندیشه، تهران.
- وکیلی، ش، عدم تقارن در حرکات پای محروم از بازخورد بینایی، - 1375 انتشارات داخلی
موسسه پژوهشی خیزش اندیشه، تهران.

References

- Barns, R. D, Invertebrate zoology, Saunders college publishing, Newyork, 1987.
- Bushev, M. Synergetics, Word scientific press, Singapore, 1994.
- Cogliotti, G. The dynamics of ambiguity, Springer-Verlag, Newyork., 1991.
- Filipek, P. A., Richelme, C., Kennedy, D. N. and Caviness, V. S. Jr, The young adult human brain: an MRI-based morphometric study, Cerebral cortex, 4, 4, 1994:344-360.
- Glicksohn, J. and Myslobodsky, M. S. The representation of structural brain asymmetry in normal individuals, Neuropsychologia, 31, 2, 1993:145-159.
- Grzemeck. Encyclopdia of zoology. (vol:2,3,6,10) ,1976.
- Haken, H. and Stadler, M. Synergetics of cognition, Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- Hargittai, I., Symmetry II, Pergamon press, England., 1988.
- Hildbrand, Milton, Analysis of vertebrate structure, Chapman & Hall. London, 1988.
- Homad, S., Doty, R., Goldstein, L., Jaynes, J., and Krauthamer, G. Lateralization in the nervious system, Academic press, Newyork, 1977.
- Johnstone, R. A. Female preference for symetrical males as a by-product of selection for mate recognition, Nature, 372, 6502, 1994:172-175.

Kelso, J. A. S. and Jeka, J. J., Symmetry breaking dynamics of human multilimb coordination., *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 3.8. 1992 : 645-668.

Kerr, D. and Stanley, J. C., Symmetry of cerebral blood flow and cognitive responses to hypoglycemia in humans, *Diabetology*, 36, 1, 1993 :73-78..

Larousse, *Tout les animaux du monde, (Tome VIII: invetebres)*, Larousse libraire, Paris, 1974.

Maki, B. E., Whitelaw, R. S., and Mcilroy, W. E., Does frontal plane asymmetry in compensatory postural responses represent preparation for stepping?, *Neuroscience letters*,149, 1, 1993:87-90..

Markell, K., Voge, M. and John, D. T. *Medical parazitology*, W. B. Saunders company, Mexico, 1992.

Pearson, Ronald and Pearson, Lindsay, *The vertebrate brain*. Academic Press, London, 1976.

Purves, D., White, L. E. and Andrews, T. J. Manual asymmetry and handedness, *Proceedings of national academy of the U.S.A*, 91, 11, 1994:5030-532.

Rakhimov, R. N. and Dolgo-Saburov, V. B. Interhemispheric differences and sex peculiarities in the distribution of the amino acids in the rat brain, *Biogenic Scienses*, 6, 8, 1992: 371-379.

Rawn, J. D. *Biochemistry*, Neil Petterson publishers, North Carolina, 1989.

Singer, H. S., Reiss, A. I., Brown, J. E., and Aylward, E. H., Shih, B., Chee, E., and Harris, E. L., Volumetric MRI changes in ganglion basal of the children in Tourette's syndrome, *Neurology*, 43, 5, 1993: 950-956..

Smith, M. M. and Heemstra, P. C. Smith's sea fishes, Smith Institute of Ichthyology, Graham stone-South Africa., 1986.

Syrkin, G., Yinon, U. and Gur, M., Simple cells may lie at the basis of the Machbands, Experimental brain research, 102, 2, 1994:319-326..

Tabony, J. and Job, D. Gravitational symmetry breaking in microtubular dissipative structure, Proceedings of national academy of the U.S.A, 89, 15, 1992:6948-6952.

Vartanyan, I. A., Auditory analysis of complex sounds and acoustic speech system of the brain, Sensory systems, 7, 3, 1993:53-61.

West, B. G., Fractal physiology and chaos in medicine, 1990.