

جمعی است که از برهمکنش نوروها پدید آمده و توپولوژی این برهمکنش ها با شبکه‌های پیچیده توصیف می‌شود. این رفتارهای سراسری منجر به بروز ویژگی‌های جالب توجه دیگری می‌شود که از نقطه نظر فیزیک آماری و پدیده‌های بحرانی دارای اهمیت است. یکی از این ویژگی‌ها، بحرانیت خودسامان‌ده است که پیش از این در برخی سیستم‌های فیزیکی مشاهده شده است.

۳.۱ بحرانیت خودسامان‌ده

همان‌طور که قبلاً مطرح شد، سیستم‌هایی وجود دارند که در یک یا چند نقطه‌ی خاص گذار فاز انجام می‌دهند. در این سیستم‌ها حول نقطه‌ی گذار، رفتار بحرانی وجود دارد و با دور شدن از این نقطه، خواص بحرانی نیز از بین می‌رود [۷]. در سیستم‌های دارای گذار فاز، کمیتی وجود دارد که در یک سمت نقطه‌ی بحرانی مقدار آن صفر و در سمت دیگر مقدار آن غیر صفر می‌شود. به این کمیت پارامتر نظم^{۲۱} گفته می‌شود. پارامتر نظم در مدل آیزینگ، مغناطش است. نقطه‌ی گذار فاز در این سیستم‌ها نسبت به یکی از کمیت‌های مسئله تعیین می‌شود. به طور مثال در مدل آیزینگ این نقطه بر اساس دمای سیستم مشخص می‌شود و منظور از نقطه‌ی بحرانی، یک دمای خاص است که سیستم در نزدیکی آن نقطه، گذار انجام می‌دهد. به این کمیت (دما در مدل آیزینگ) که گذار فاز در سیستم را کنترل می‌کند، اصطلاحاً کمیت کنترل^{۲۲} گفته می‌شود. در این مدل‌ها می‌توان با تغییر کمیت کنترل، سیستم را به اندازه‌ی دلخواه به نقطه‌ی بحرانی نزدیک و یا از آن دور کرد [۶].

دسته‌ی دیگری از سیستم‌های بحرانی وجود دارند که در آن‌ها کمیتی به نام کمیت کنترل وجود ندارد [۱۰، ۱۱]. در این سیستم‌ها رفتار کلی به گونه‌ای است که سیستم در نزدیکی نقطه‌ی بحرانی باقی می‌ماند. در واقع سیستم طوری خودش را تغییر می‌دهد که دائماً نزدیک نقطه‌ی بحرانی فعالیت کند و با دور شدن از محدوده‌ی بحرانی، خودش را به این محدوده باز می‌گرداند [۱۰، ۱۱]. نام‌گذاری خودسامان‌ده نیز به همین دلیل است. در این سیستم‌ها منظور از نقطه (و یا محدوده‌ی) بحرانی این است که دینامیک سیستم منجر به تولید خواص بحرانی برای سیستم شود. منظور از این خواص، غالباً وجود رفتار توانی در تابع توزیع برخی کمیت‌ها است که نماهای بحرانی آن‌ها طبق روابط مقیاسی مناسب، به یکدیگر مرتبط می‌شوند.

^{۲۱}Order Parameter

^{۲۲}Control Parameter

یکی از شناخته شده‌ترین سیستم‌های خودسامان‌ده بحرانی، مدل تپه‌شنی است [۱۱، ۱۲]. این مدل که با در نظر گرفتن اضافه و پر شدن دانه‌های شن بر روی یک شبکه کار می‌کند، می‌تواند خواص جالبی از برخی سیستم‌های طبیعی مانند فعالیت آتشفشان‌ها، شدت زمین‌لرزه‌ها و ... ارائه کند [۱۳، ۱۴]. این مدل بسیار ساده قبلاً به ازای شرایط مرزی و ابعاد مختلف [۱۰] حل و نتایج آن با سایر مدل‌های بحرانی مقایسه شده‌است [۱۲]. در مورد این مدل در فصل بعدی به طور مفصل بحث خواهیم کرد.

یکی از نتایج جالب توجه این مدل، وجود رفتار مشابه در نورون‌های مغز انسان است که در سال ۲۰۰۳ توسط بگنز^{۲۳} و پلنز^{۲۴} گزارش شد [۱۵].

۴.۱ بحرانیت خودسامان‌ده در مغز

همان‌طور که در بخش قبل گفته شد، وجود رفتار بحرانیت خودسامان‌ده پیش از این در فعالیت‌های نورون‌های مغز انسان مشاهده شده‌است [۱۵]. در این مقاله از داده‌های مربوط به نورون‌های کشت شده استفاده شده‌است. بنابراین نتایج مربوطه به داده‌های درون آزمایشگاهی^{۲۵} است و توسط پژوهش‌های دیگری نیز تایید شده‌است [۱۷، ۱۸]. طبق پژوهش‌های دیگر، نتایج مشابه برای داده‌های درون بدن^{۲۶} نیز مشاهده شده‌است [۱۹، ۲۰]. همچنین نشان داده شده‌است که وجود بحرانیت خودسامان‌ده با ویژگی‌های دیگری از جمله همگامی بهینه [۱۷]، بیشترین ذخیره‌ی اطلاعات [۲۱]، تبادل بهینه [۱۵] و بزرگترین محدوده‌ی دینامیکی^{۲۷} [۱۸] همراه است.

بیشتر مطالعات صورت گرفته در مقیاس مجموعه‌های کوچک نورونی بوده‌است. در عین حال مطالعاتی در مقیاس‌های بزرگ‌تر صورت گرفته‌است و نتایج مشابه در مقیاس‌های بزرگ‌تر نیز تایید شده‌است [۲۲-۲۴]. بنابراین به طور کلی می‌توان بحرانیت خودسامان‌ده را به عنوان یک ویژگی مغز سالم در نظر گرفت [۲۵، ۲۶].

این ویژگی در مورد انسان بالغ به تایید رسیده‌است اما در مورد این‌که این ویژگی از چه زمانی در مغز انسان تشکیل می‌شود اطلاعات کاملی در دست نیست. همچنین پژوهش‌هایی در مورد مغز نوزادان و در مقیاس کوچک صورت گرفته‌است که نتایج مشابهی با دیگر پژوهش‌ها داشته‌است [۲۷]. با توجه به اهمیت مقیاس در سیستم‌های

^{۲۳}Beggs

^{۲۴}Plenz

^{۲۵}In Vitro

^{۲۶}In Vivo

^{۲۷}Maximum Dynamical Range

پیچیده، بررسی این ویژگی در مقیاس‌های بزرگتر دارای اهمیت ویژه‌ای است چرا که در بیشتر سیستم‌های پیچیده، رفتارها مستقل از مقیاس مورد بررسی هستند.

بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی داده‌هایی هستند که از روش‌های تهاجمی^{۲۸} بدست آمده‌اند. با توجه به اثرات تخریبی این روش‌ها و همچنین محدودیت‌های موجود در روش‌های تهاجمی برای انسان، اهمیت روش‌های غیرتهاجمی^{۲۹} بیشتر و مشهودتر می‌شود. لذا توجه به این نکته بسیار مهم است که روش مورد بررسی ما، غیرتهاجمی باشد.

بنابراین هدف ما در این پژوهش، بررسی وجود بحرانیت خودسامان‌ده در مغز نوزادان در مقیاس کل مغز و با استفاده از داده‌های غیرتهاجمی است. در این صورت ممکن است بتوانیم تغییرات این کمیت را در تکامل عملکرد مغز بدست آوریم. بر همین مبنا بایستی بحرانیت خودسامان‌ده را که در فصل سوم به جزئیات آن می‌پردازیم، با استفاده از داده‌های غیر تهاجمی مورد مطالعه قرار دهیم.

^{۲۸}Invasive

^{۲۹}Non-Invasive