

آزمایشگاه سیستم‌های پیچیده

مقدمه:

پیشرفت‌های قابل توجه اخیر در حوزه فناوری از یک سو و از سویی دیگر بلوغ جمعی علوم پایه و فنی- مهندسی به همراه علوم زیست- محیطی شرایطی را فراهم کرده تا رهیافت‌هایی نوین جهت حل مسایل پیچیده و همچنین پرداختن به حوزه‌هایی فراتر از پژوهش‌های سنتی، مورد کنکاش و توجه واقع گردد. با توجه به چارچوب مناسبی که از این منظر فراهم آمده‌است، ارایه راهکارهایی جدید برای تقاضاهای درونی و برونی هر شاخه از علم، طی یک روش بهینه و منطقی در بسیاری از موارد همراهی و هم‌افزایی چندین شاخه از علوم را طلب می‌کند. به بیانی دیگر پیچیدگی‌های علوم نوین که از یک سو خود معلول پیشرفتهای چشم‌گیر علوم پایه می‌باشد از سویی دیگر به همراه درخواست جامعه بشری، عامل اصلی بنای چنین حوزه‌های علوم بین‌رشته‌ای همانند آنچه که امروزه در حوزه علم فیزیک به نام سیستم‌های پیچیده و دینامیک غیر خطی معروف شده، هستند. امروزه یکی از محورهای مورد توجه در کشورهای توسعه‌یافته برای تضمین بقا و در کشورهای در حال توسعه برای رسیدن به یک توسعه پایدار با روندی در حال رشد، بی‌شک نگاه درست مبتنی بر عقلانیت و آینده‌نگری در چنین حوزه‌های جدید علمی می‌باشد. با رجوع به آمارهای قابل توجه از برگزاری سالیانه نشست‌ها، کنگره‌ها و کارگاه‌های بین‌المللی در مقایسه با نمونه‌های مشابه در دیگر حوزه‌ها و همچنین خدمات ارزنده آن به جامعه بشری، درمی‌یابیم که اهمیت این موضوع از جانب دانشمندان و دولت‌مردان عرصه بین‌المللی تایید شده‌است. بنابراین برای دستیابی به جایگاه برتر در دنیا، توجه ویژه به این بخش لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

سیستم پیچیده چیست؟

سیستم‌های پیچیده نگاهی نو به پدیده‌های است که به دلیل ارتباط بین اجزای آن و همچنین ارتباط با دیگر پدیده‌ها، از پیچیدگی بالایی برخوردارند و رفتار جمعی متفاوتی بروز می‌دهند. بدین معنی که با مطالعه تک‌تک اجزای یک سیستم پیچیده نمی‌توان به رفتار جمعی آن دست یافت. به عبارت دیگر، سیستم پیچیده معرف پارادایم پیچیدگی است که عناصر سازنده آن تشکیل شبکه‌ای را می‌دهند که اجزاء شبکه دارای برهمکنش هستند و از اندیشه کل‌نگر بهره می‌گیرند. معرفت‌شناسی کلاسیک که بخشی‌نگر است، بر این فرض استوار است که اگر اجزاء سیستمی را دقیقاً شناسایی کنیم و از عملکرد آن اطلاع پیدا کنیم، قادر خواهیم بود به خواص کلی پدیده و سیستم دست پیدا کنیم. مطالعات در حوزه فیزیک انرژی‌های بالا از کیهان‌شناسی گرفته تا اختر فیزیک و تشکیل ساختارهای بزرگ‌مقیاس، ساختارهای بی‌نظم در مواد،

زیست‌شناسی، جامعه‌شناسی و اقتصاد، محدودیت کاربرد این مسئله در مقالات و کتب متعدد را به نمایش گذاشته‌اند.

نیاز و پیدایش

اغلب پدیده‌های طبیعی و بسیاری از ساخته‌ها و آفرینش‌های امروزی انسانی را باید تحت رده‌ عام سامانه‌های پیچیده به بررسی و مطالعه پرداخت. هر چند انسان صدها سال است که بررسی سیستم‌های پیچیده را آغاز کرده است. اما بررسی این سیستم‌ها در شاخه‌های مختلفی برداشت مدرنی از آن را ایجاد کرده است. در ریاضیات با کشف آشوب در سیستم‌های تعینی و همچنین بررسی دینامیکی شبکه‌های عصبی، بررسی این سیستم‌ها در زمینه را کلید زد. در شیمی و فیزیک، بررسی سیستم‌های خود سامانده در غالب مباحث فیزیک آماری و ترمودینامیک غیرتعادلی آغاز شد. مدل‌سازی تلاطم، سیستم‌های فرومغناطیسی و همچنین پدیده‌های بحرانی، گام‌های مهم بعدی در بسط این مباحث شد. به طور کلی در فیزیک مطالعات ویژگی سیستم‌ها با در نظر گرفتن معادلات حرکت به معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی منجر می‌شود. از این رو شرایط اولیه و البته شرایط مرزی نقش مهمی ایفا می‌کنند. در مقیاس میکروسکوپی شرایط اولیه خود معلول افت و خیزهایی غیر تعینی هستند بنابراین میدانی تصادفی به دست می‌آید که مطالعه چنین سیستم‌هایی بار روشهای کلاسیک امکان پذیر نبوده و یا حداقل به نتایج قابل اعتمادی منجر نخواهد شد. بنابراین نگاه جدیدی برای مطالعه مورد نیاز است که در حوزه فیزیک سیستم‌های پیچیده می‌گنجد. با مطرح شدن مسایل زیست‌شناختی و انسان‌شناختی در حوزه‌ی مدل‌سازی ریاضیاتی و فیزیکی، روش‌شناسی علمی سیستم‌های پیچیده رشد روزافزونی پیدا کرده‌اند. امروزه سیستم‌های پیچیده نگاهی کلی‌نگر بر پدیده دارد و برپایه تئوری‌های شبکه‌های پیچیده، آشوب، پدیده‌های بحرانی، هندسه فرکتالی، تئوری مقیاسی، تئوری اطلاعات و دینامیک غیر خطی بنا شده است.

ضرورت و اهداف

هدف این گرایش توسعه ابزارهای ریاضی، محاسباتی و شبیه‌سازی با تکیه بر فهم رفتارهای فیزیکی حاکم بر آنها، به منظور توصیف و پیش‌بینی این گونه پدیده‌هاست. قدرت معرفت‌شناسی سیستم‌های پیچیده در تحلیل سیستم‌های بس ذره‌ای است. امکان دسترسی آسان به حجم روز افزون داده‌ها، این امکان را ایجاد کرده است که هر روز شاهد تولد روشی نوین در زمینه‌های گوناگون بر پایه‌ی تفکر سیستم‌های پیچیده باشیم. کشورهای صاحب قدرت با سرمایه‌گذاری روی چنین روش‌هایی تعریف ابزار قدرت را در دنیای چند بعدی امروز تغییر داده‌اند و برای رسیدن به یک توسعه پایدار و همچنین دسترسی به منابع انسانی، اطلاعاتی، نرم‌افزاری و سخت‌افزاری وسیع، نیاز به پرداختن به این جنبه از علوم در کشور ما نیز حس می‌شود. مثال‌های مهم اطراف ما که اکنون توسط سیستم‌های پیچیده می‌توانند توصیف شوند عبارتند از تلاطم، آشوب، زلزله، فیزیک اقتصاد و بازار سهام، نفت و خیز جمعیت در اکو سیستم‌ها، ژنتیک جوامع، رشد

و گسترش اپیدمی ها، ماده چگال نرم، بیوفیزیک، فیزیک انرژی بالا، کیهانشناسی و اخترفیزیک، جامعه‌شناسی، علوم شناختی، اطلاعات کوانتمی و ... تنوع عناوین فوق خود نشانگر کاربرد این رشته است. سیستم‌های انسانی مانند علوم روانشناختی، اجتماعی و اقتصادی، در عصر حاضر که سرعت و حجم ارتباطات و اطلاعات به طور باورنکردنی افزایش یافته است با مسائل پیچیده‌ای دست و پنجه نرم می‌کند. روش‌های سنتی در پاسخ به این دست از پرسش‌ها بسیار ناتوان است. چنین دلایلی باعث حرکت به سمت گرایش‌های میان رشته‌ای و جلب توجه فراوان به آنها شده است. در این رویکردها معمولاً از روش‌های معمول در یک رشته، معمولاً روش‌های ریاضی، برای توصیف و درک بهتر پدیده‌ها و مدل سازی آنها در رشته‌های دیگر استفاده می‌شود. با استفاده از چنین روش‌هایی مفاهیم کلاسیک در رشته‌ها دگرگون می‌شود و مفاهیم جدیدی از دل آنها زاده می‌شود. همچنین مرز بین سیستم‌ها از بین رفته و به طبع آن علوم میان‌رشته‌ای موجه‌تر به نظر می‌رسد.

اهمیت تحقیقات آزمایشگاهی در فیزیک سیستم‌های پیچیده

معرفت‌شناسی علمی در علم فیزیک عموماً در چارچوب نظریه‌پردازی به عنوان مدل‌سازی از یک سو و از سویی دیگر فعالیت‌های تجربی و آزمایشگاهی به دست می‌آید. با توجه به محدودیت‌های مختلف در راه‌اندازی آزمایشگاه‌ها و البته استفاده‌ی بهینه از امکانات و زمان روش‌های شبیه‌سازی نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. آنچه که عموماً در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دنبال می‌شود بررسی اعتبار مدل‌های تئوری و البته مشاهده رفتار واقعی پدیده است. همچنین این امکان نیز وجود دارد که رفتارهایی در آزمایش مشاهده کنیم که هنوز شناخته شده نیستند یا محاسبه‌ی آنها برای رایانه‌ها دشوار باشد و در شبیه‌سازی نیز وارد نشده باشد. بنابراین برای رسیدن به نتیجه‌ای علمی باید از سه بخش گفته شده به نحو مناسبی بهره گرفت. لازم به ذکر است که مهم‌ترین مهر تایید مدل‌های فیزیکی برای توصیف جهان واقعی آزمایش‌های گوناگون در محیط واقعی و آزمایشگاهی است.

سیستم‌های پیچیده به این دلیل که یک دانش بین‌رشته‌ای و جزو فیزیک میان‌رشته‌ای محسوب می‌گردد، امروزه با بسیاری از زمینه‌های علمی مانند اقتصاد و جامعه‌شناسی، بیولوژی و ... گره خورده است. آزمایش پدیده‌ها در محیط واقعی نیز که یکی از مهمترین بخش‌های علم فیزیک است در این گرایش اهمیت به سزایی دارد.

به همین منظور معاونت پژوهشی دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه شهید بهشتی تصمیم دارد آزمایشگاهی در این زمینه ایجاد کند. از سوی دیگر با این نگرش اولین بار است که در کشور ما به این موضوع یعنی وجود فضای آزمایشگاهی برای سیستم‌های پیچیده پرداخته می‌شود و امید است در این خصوص نیز پیشتاز باشد و دانشگاه شهید بهشتی را به قطب علمی سیستم‌های پیچیده‌ی ایران تبدیل کند.

برخی از آزمایش‌ها موجود در این آزمایشگاه

موضوع آزمایش اول: مواد نرم (Soft Matter)

هدف آزمایش: مواد نرم در حرکت از مرزها

فیزیک ماده نرم یا فیزیک ماده چگال نرم زیرشاخه‌ای از فیزیک ماده چگال، شامل موادی می‌شود که به راحتی تحت تنش‌ها یا افت‌وخیزهای گرمایی تغییر شکل می‌دهند. این مواد شامل مایعات، پلیمرها، کلوئیدها، کف، بس پارها، مواد ژله‌ای، مواد دانه‌ای، غشاءها، و تعدادی از مواد زیستی هستند. مطالعه نیروهای بین قطرات یک امولسیون در حالت شبه دوبعدی در نزدیکی نقاط متراکم شده بخش از اهداف این آزمایش تحقیقاتی به حساب می‌آید. این آزمایش راجع به محاسبه نیروی بین قطرات و حبابها بصورت تجربی و شبیه‌سازی شده می‌باشد، که در مواد نرم جایگاه بسیار مهمی دارد.

آزمایش دوم

موضوع آزمایش: برهمکنش میکروسیالی (Microfluidic interaction)

هدف آزمایش: ارتباط هندسه و توپولوژی مناطق موئین برای حرکت شاره در مقیاس میکرو

در این آزمایش به بررسی تعامل شگفت‌آور بین هندسه و موئینگی در میکروسیالات، پرداخته می‌شود. از جمله کاربردهای آن می‌توان به زمینه‌های پردازش شیمیایی، نانو تکنولوژی، تحریک هیدرولیکی، تولید نیرو، انتقال حرارت، ساخت چاپگرها، ویژگی‌های زیست‌شناختی هر موجود زنده (مولکولهای DNA) و غیره اشاره کرد.

آزمایش سوم

موضوع آزمایش: تلاطم (Turbulence)

هدف آزمایش: اندازه‌گیری، تحلیل و شبیه‌سازی جریان شارها

در این آزمایش تلاطم در سطح شاره که در اثر تغییر میدان الکتریکی در یک مایع مثل آب ایجاد می شود، تجزیه و تحلیل می گردد. با حل معادلات ناویراستوکس شدت تلاطم را در هر حوزه مغناطیسی بررسی می گردد. با رهیافت شبیه سازی نیز می توان مطالعاتی انجام داد و سپس نتایج را بایکدیگر مقایسه نمود. تلاطم در شاره ها در آیرودینامیک، مهندسی محیط های پیوسته، مکانیک سالات، علوم هوایی و فضایی و غیره کاربرد دارد.

آزمایش چهارم

نام آزمایش: گرداب تیلور (Taylor vortex)

هدف آزمایش: اندازه گیری، تجزیه و تحلیل تغییر فاز مایع متلاطم شده بین استوانه های چرخان. معادلات حرکت برای تحول مایعات توسط معادلات ناویراستوکس ارایه می شود. در آزمایش تلاطم راجع به تجزیه و تحلیل این معادلات در چارچوب مختصات مختلف بحث و بررسی شد. حالت های مختلفی برای چرخش دو استوانه هم محور می توان در نظر گرفت. مهمترین معادلات حرکت برای لایه های نازک مایع معادلات ناویراستوکس در دستگاه مختصات استوانه ای هستند. در موقع تلاطم معمولاً تغییر فازهای پی در پی اتفاق می افتد که فرکانس های مخصوص به هر تغییر فاز را می توان با کمک آزمایش و به کمک تحلیل تصاویر گرفته شده بدست آورد، با استفاده از آن راجع به سرعت استوانه ها، عدد رینولدز و دیگر ویژگی های فیزیکی مثل طیف توان و تحلیل فرکتالی، اطلاعاتی قابل دریافت است.

آزمایش پنجم

موضوع آزمایش: جمع آوری داده ها از فرآیندهای طبیعی

هدف آزمایش: ضبط داده های مربوط به فرآیندهای مختلف و تحلیل آنها
به عنوان نمونه در این آزمایش داده های فشار خون را جمع آوری می کنیم. سپس بوسیله فیلتر کردن سیگنال های اضافی فشار خون واقعی بدن شخص را بدست می آوریم. مشابه چنین دستگاه هایی مثل لرزه نگارها، ماهواره هایی که اطلاعات را از کیهان جمع آوری می کنند و غیره می توان طراحی و استفاده کرد.

آزمایش ششم

موضوع آزمایش: رفتار دسته جمعی گروهی از ذرات با برهمکنش خودبخودی

هدف آزمایش: حرکت ذرات در حضور کشش سطحی آب

این آزمایش به منظور بررسی سرعت ذراتی روی سطح آب، کشش سطحی آب و رفتار خودبخودی این ذرات روی سطح آب طراحی می شود. به عنوان مثال چند ذره آسپیرین روی سطح آب می اندازیم، می بینیم که ذرات روی سطح آب به صورت خودبخود شروع به حرکت می کنند و هرچه اندازه آنها کوچکتر باشد

سرعت آنها بیشتر است، کولونی‌های باکتری، ازدحام حشرات، دسته‌ی پرندگان، دسته‌ی ماهی‌ها همگی مثالهایی واضح از سیستم‌های بیولوژیکی هستند که حرکت دسته جمعی به نمایش می‌گذارند.

آزمایش‌های یاد شده برخی از آزمایش‌هایی است که قرار است در این آزمایشگاه راه‌اندازی و انجام شود. در مورد هر آزمایش نیاز است تئوری آزمایش که شامل توضیح آزمایش انگیزه‌ی آزمایش و نتایجی که انتظار می‌رود در طی آزمایش به دست آید باید تدوین شود در بخش شبیه‌سازی آزمایش، الگوریتم‌ها و برنامه‌های مورد نیاز برای آزمایش با نرم‌افزارهای همچون Fortran، C++، و Matlab طراحی خواهد شد. نوع و تعداد وسایل مورد نیاز آزمایش و در نهایت روش انجام آزمایش تدوین خواهد شد.

سیدمحمدصادق موحد