

# نقش علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی در توسعه فناوری (قسمت دوم)

■ محمدرضا معمارجعفری\*<sup>+</sup>

عضو هیئت علمی پژوهشکده توسعه تکنولوژی و مسائل  
حوزه آمار و شبیه‌سازی گروه پژوهشی مهندسی صنایع

## چکیده

در حالی که استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای در علوم مهندسی در حدود نیم قرن پیش شروع شده است، تنها در دهه گذشته نظریه و فناوری شبیه‌سازی اثر عظیمی روی رشته‌های مهندسی گذاشته است. این تغییر قابل ملاحظه به طور اساسی به دلیل توسعه علوم محاسباتی و رایانه‌ای و پیشرفت‌های سریع در تجهیزات و سیستم‌های آن رخ داده است. قرار گرفتن انبوهی از فناوری‌ها در افقی که بدون شبیه‌سازی امیدی به درک، توسعه یا بکارگیری آنها وجود ندارد، از دیگر دلایل رخداد تغییرات مذکور است. در این مقاله، تأثیر بالقوه پیشرفت‌های علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی روی علم و فناوری بررسی شده و چالش‌ها و موانع برای پیشرفت‌های بعدی مورد شناسایی قرار می‌گیرد. با بکارگیری این علوم می‌توان پیشرفت‌های بسیار بزرگی را در جبهه وسیعی مانند پزشکی، علم مواد، امنیت ملی، ساخت، طراحی مهندسی و بسیاری موارد دیگر توقع داشت. به دلیل طولانی بودن مباحث، مقاله در دو قسمت جداگانه تدوین شد. در قسمت اول، اهمیت علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی به عنوان یک پیش‌نیاز برای علوم و مهندسی فردا مورد بررسی قرار گرفت و برخی از کاربردهای قابل ملاحظه آن را که منافع و امتیازات بزرگی را به جامعه ارایه می‌دهد، توصیف و پیشنهادهای مطرح شد. در این قسمت (پایانی) از مقاله، مباحثی مانند بزرگ‌ترین موانع، چالش‌ها و فرصت‌ها در علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی، شامل: "چالش مدل‌سازی و شبیه‌سازی چندمقیاسی، روش‌های تعیین عدم اطمینان، معتبرسازی و صحت‌گذاری مدل، سیستم‌های شبیه‌سازی پویا، حسگرها، معیارها و شبیه‌سازی‌های همگن، چشم‌اندازهای جدید در نرم‌افزار شبیه‌سازی، ضرورت داده-بزرگ در شبیه‌سازی و نقش تجسم در علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی و همچنین الگوریتم‌های نسل بعدی و عملکرد محاسباتی" و بالاخره، اثر علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی روی سیستم تعلیم و تربیت مهندسين، دانشمندان و متخصصین فردا مورد بررسی قرار گرفته است.

**واژگان کلیدی:** شبیه‌سازی رایانه‌ای، علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی، توسعه فناوری، پیشگویی رویدادهای فیزیکی، منطق-های ریاضی و محاسباتی، عدم اطمینان، معتبرسازی و صحت‌گذاری مدل.

\* عهده دار مکاتبات

+ شماره نامبر: 021-66024543 و آدرس پست الکترونیکی: [memarj@jdsharif.ac.ir](mailto:memarj@jdsharif.ac.ir)

## 1- مقدمه

مشاهده نیستند یا هنگامی که اندازه‌گیری‌ها غیر قابل انجام یا خیلی گران است، فراهم می‌کند.

"علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی"، به عنوان موضوعی که پایه علمی و ریاضی را برای شبیه‌سازی سیستم‌های مهندسی شده فراهم می‌نماید، تعریف می‌شود. چنین سیستم‌هایی از دستگاه‌های میکروالکترونیک تا اتومبیل‌ها، هوانوردی‌ها و حتی زیرساخت‌های میدان‌های نفتی و شهرها گسترش دارد. در یک کلمه، "علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی" دانش و فنون رشته‌های مهندسی سنتی مانند برق، مکانیک، عمران، شیمی، هوافضا، هسته‌ای، زیست‌پزشکی و علوم مواد را با دانش و فنون رشته‌هایی مانند علوم کامپیوتر، ریاضیات و علوم فیزیک و اجتماعی در می‌آمیزد. به عنوان یک نتیجه باید گفت، مهندسیین قادر خواهند بود سیستم‌های تأثیرگذار روی تقریباً تمام جنبه‌های زندگی و کار، شامل محیط، امنیت و ایمنی و محصولاتی که استفاده و صادر می‌گردد را پیشگویی و بهینه نمایند.

در حالی که از نیم قرن پیش استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای در علوم مهندسی شروع شده است، نظریه فناوری شبیه‌سازی تنها در دهه گذشته اثر عظیمی را روی رشته‌های مهندسی گذاشته است. این تغییر قابل ملاحظه اساساً به دلیل توسعه علوم محاسباتی و رایانه‌ای و پیشرفت‌های سریع در تجهیزات و سیستم‌های آن رخ داده است. دلایل دیگری نیز وجود دارد. برای مثال، انبوهی از فناوری‌ها در افقی هستند که بدون شبیه‌سازی نمی‌توان امید به درک، توسعه و یا بکارگیری آنها داشت. بسیاری از آن فناوری‌ها برای رهبری مستمر در علوم و مهندسی حیاتی هستند. بی تردید، تحقیقات در "علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی" به سرعت در حال حیاتی شدن برای امنیت، بهروزی و سعادت تمام کشورها است [27].

این مقاله تأثیر بالقوه پیشرفت‌های "علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی" بر علم و فناوری را بررسی کرده و چالش‌ها و موانع برای پیشرفت‌های بعدی را مورد شناسایی قرار می‌دهد. برای مثال، باید به مشکلات ذاتی در مدل‌سازی چندمقیاسی، توسعه الگوریتم‌های نسل بعد و طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های کاربردی داده محور پویا فائق آمده و روش‌های تعیین عدم اطمینان، معتبرسازی و صحت‌گذاری<sup>5</sup> مدل را بهبود بخشید. همچنین باید راه‌های بهتری را برای یکپارچه کردن محاسبه

برای متجاوز از یک دهه، جوامع علوم و مهندسی بیش از پیش آگاه شده‌اند که شبیه‌سازی رایانه‌ای ابزاری ضروری برای مرتفع کردن تعداد کثیری از مسایل علمی و فن‌سالارانه است که کشورها با آن مواجه هستند. برای تعریف دقیق‌تر رشته شبیه‌سازی رایانه‌ای و ارزیابی اثر بالقوه آن روی زمینه‌های مهم علوم مهندسی، در آوریل 2004، بنیاد ملی علوم<sup>1</sup> در آمریکا کارگاهی را در مورد علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی<sup>2</sup> سازماندهی نمود. با حمایت و تشویق گسترده از نتایج کارگاه، این بنیاد یک میزگرد نشان برتری<sup>3</sup> را به این علوم اختصاص داد. هدف میزگرد، بررسی چالش‌ها و منافع بالقوه این علوم و نیز موانع توسعه آن بود. به علاوه، ارایه پیشنهادها در مورد چگونگی پشتیبانی کردن از این رشته در بنیاد، دانشگاه، صنعت، آزمایشگاه‌های ملی و آژانس‌های دولتی به عهده میزگرد گذاشته شد. کارگاه دوم در مورد علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی در سپتامبر 2005 برگزار گردید که در آن زمان، میزگرد ورودی‌هایش را در مورد این علوم از هواداران و حامیان وسیعی دریافت کرد [27].

در قسمت اول مقاله اشاره شد که: «شبیه‌سازی، به کاربرد مدل‌های رایانه‌ای برای مطالعه و پیشگویی رویدادهای فیزیکی یا رفتار سیستم‌های مهندسی شده<sup>4</sup> مربوط می‌شود. توسعه شبیه‌سازی رایانه‌ای از یک منبع عمیق دانش و منطق‌های علمی، ریاضیاتی، محاسباتی و مهندسی استخراج شده است. شبیه‌سازی رایانه‌ای با توسعه مبانی نظری و حیطه متنوع کاربردهای خود، به عنوان ابزار قدرتمندی که متحول‌سازی هدایت مهندسی و علوم را در قرن بیست و یکم نوید می‌دهد، ظهور کرده است. این ابزار، گستره‌ای از علوم نظری را که در آن مدل‌های ریاضی مینا هستند، معرفی می‌کند. چنین مدل‌هایی کوشش می‌کنند پیشگویی‌های فیزیکی یا نتایج نظریه‌های علمی را مشخص سازند. شبیه‌سازی می‌تواند برای کشف نظریه‌های جدید و طراحی آزمایش‌های جدید به منظور آزمون این نظریه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. شبیه‌سازی همچنین جایگزین توانمندی را برای فنون "علوم تجربی و مشاهده" وقتی که پدیده‌ها قابل

1 National Science Foundation (NSF)

2 Simulation Based Engineering Science (SBES)

3Blue Ribbon (Longman Dic: the first prize in a competition, sometimes consisting of a small piece of blue material)

4 شامل طراحی، برنامه‌ریزی، ساخت و ...

5 Validation , Verification

## 2-1- خودکامگی مقیاس‌ها: چالش مدل‌سازی و

### شبیه‌سازی چندمقیاسی

محققان در مسابقه جهانی به سمت کوچک‌سازی، نانوعلم، مدل‌سازی مولکولی داروها و سیستم‌های بیولوژی، مواد پیشرفته، و نیز تمام رویدادهای در سطح اتمی و مولکولی، با یک مانع سخت به نام خودکامگی مقیاس‌ها مواجه شده‌اند. در اصل، همه روش‌های متداول شبیه‌سازی که در ابتدای قرن بیست و یکم شناخته شدند فقط برای حوزه‌های محدودی از مقیاس‌های فاصله‌ای و زمانی معتبر بوده و نمی‌توانند از عهده عملیات پدیده‌های فیزیکی عمل‌کننده در میان حیطه‌های بزرگ مقیاس-12 مرتبه بزرگنمایی در مقیاس‌های زمانی، مانند مدل‌سازی تا کردن پروتئین<sup>12</sup> [3:4] یا 10 مرتبه بزرگنمایی در مقیاس‌های فاصله‌ای، مانند طراحی مواد پیشرفته برآیند. در آن حیطه‌ها، توان خودکامگی مقیاس‌ها عملاً تمام روش‌های متداول را بی‌فایده می‌کند.

خودکامگی مقیاس‌ها بر کوشش‌های شبیه‌سازی، نه فقط در سطوح اتمی یا مولکولی، بلکه هر جا که با تفاوت‌های بزرگ در مقیاس‌های فاصله‌ای و زمانی مواجه می‌شوند، حاکم است. چنین نابرابری‌هایی عملاً در تمام حوزه‌های علوم و مهندسی مدرن، برای مثال، در فیزیک نجومی<sup>13</sup>، علوم اتمسفری، علوم زمین‌شناسی و در طراحی سیستم‌های پیچیده مهندسی مانند زیردریایی‌ها، هواپیماهای تجاری و موتورهای توربینی ظاهر می‌شوند.

در بسیاری از روش‌ها، همه آنچه که درباره دنیا و عام فیزیکی و طراحی و عملکرد سیستم‌های مهندسی می‌دانیم بنا بر مقوله مقیاس<sup>14</sup> افزاز شده‌اند. طراحی که خواص الکترونیکی مواد را دستکاری می‌کند، دنیا را به صورت تعداد زیادی اتم‌های بی‌نهایت کوچک با ابرهایی از الکترون‌های دَوْران‌کننده<sup>15</sup> می‌بیند. دانشمندان، اتمسفر دنیا را به صورت حرکت توده‌های بزرگ هوا می‌بینند که شرایط آب و هوایی را در میان هزاران مایل سطح زمین تغییر می‌دهند. ابزار مدل‌سازی و شبیه‌سازی که ما اکنون در حال جستجوی آن هستیم، باید در کاربردهای خود با گستره بزرگ پدیده‌هایی که باید شبیه‌سازی کنند، متناسب شوند.

خودکامگی مقیاس‌ها تنها با ساختن رایانه‌های بزرگتر و

داده‌های زیاد<sup>6</sup>، تجسم<sup>7</sup> و شبیه‌سازی تعیین کرد. مهم‌تر اینکه، باید سیستم تعلیم و تربیت را برای پرورش مطالعه بین رشته‌ای مورد نیاز این علوم بازسازی نمود تا بتوان پیشرفت‌های بسیار بزرگی را در جبهه وسیعی مانند پزشکی، علم مواد، امنیت ملی، ساخت، طراحی مهندسی و بسیاری موارد دیگر توقع داشت. در قسمت اول<sup>8</sup> مقاله، اهمیت "علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی" به عنوان یک پیش‌نیاز برای علوم و مهندسی فردا مورد بررسی قرار گرفت و برخی از کاربردهای قابل ملاحظه آن، که منافع و امتیازات زیادی را به جامعه ارائه می‌دهد، توصیف شد. در پایان نیز به نتیجه‌گیری از قسمت اول مقاله پرداخته و برخی پیشنهادات عنوان گردید.

در ادامه قسمت دوم (پایانی) مقاله، مسائل اصلی مانند بزرگ‌ترین موانع، چالش‌ها و فرصت‌ها در علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی، شامل: "خودکامگی<sup>9</sup> مقیاس‌ها؛ روش‌های تعیین عدم اطمینان، معتبرسازی و صحت‌گذاری مدل؛ سیستم‌های شبیه‌سازی پویا، حسگرها، معیارها و شبیه‌سازی‌های همگن؛ چشم‌اندازهای جدید در نرم‌افزار شبیه‌سازی؛ ضرورت داده-بزرگ<sup>10</sup> در شبیه‌سازی، نقش تجسم در علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی؛ الگوریتم‌های نسل بعد و عملکرد محاسباتی" و بالاخره، اثر علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی روی سیستم تعلیم و تربیت مهندسی، دانشمندان و متخصصین فردا مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## 2-2 بزرگ‌ترین موانع، چالش‌ها و فرصت‌ها در علوم

### مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی

همه کاربردهای مؤثر و محرک مورد بحث در قسمت اول مقاله<sup>11</sup>، در چالش‌های عمومی، موانع و نیازمندی‌ها برای موفقیت تحقیقات، شرکت دارند. در این بخش در مورد نتایج عمده توضیح داده خواهد شد.

6 Data-Intensive (Longman Dic: involving or needing a lot of data)

7 Visualization

8 در شماره پانزده/ پاییز 1389 همین فصلنامه به چاپ رسیده است.

9 Tyranny

10 Big Data

11 بخش 3 قسمت اول مقاله ((کاربردهای کارساز و منافع اجتماعی عم‌م‌ش (علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی))

12 Protein Folding

13 Astrophysics

14 Categories of Scale

15 Orbiting Electrons

کاربردهای ساختاری - علاقه زیادی را در توسعه روش‌های چندمقیاسی که می‌توانند تنوع و تعدد را در مقیاس‌های فاصله‌ای در نظر بگیرند، برانگیخته است.

در مدل‌سازی چندمقیاسی، تلفیق نظریه‌های قابل کاربرد برای حوزه‌های مختلف مقیاسی، مانند کوانتوم، مولکولی، و پراکندگی‌های پیوستاری مورد تأکید قرار گرفته است [5]: [1504]. با این حال مسائل فن‌سالارانه بسیار مهم، مانند مدل‌سازی آشوب<sup>19</sup>، حل نشده باقی می‌مانند. در حقیقت، مسائل جریان آشوب در مهندسی عملی شامل حیطه عظیمی از مقیاس‌هاست که فعلاً نمی‌توانند با استفاده از بزرگترین و وسیع‌ترین کامپیوترهای جهان حل شوند. اگر فرض کنیم که پیشرفت با نرخ قانون مور<sup>20</sup> ادامه یابد، مسائل جریان آشوب تسلیم بسیاری از راه‌حل‌های نسل‌های آینده نخواهد شد.

ضرورت توسعه مدل‌های شبیه‌سازی چندمقیاسی، جهانی شده است؛ به طوری که در چند سال گذشته هر کنفرانس، سمپوزیوم و کنگره بین‌المللی‌ای که به علوم و مهندسی محاسباتی اختصاص داده شده، مدل‌سازی چندمقیاسی را به عنوان یک موضوع مهم فهرست کرده است. سه کارگاه DOE اخیراً در مورد ریاضیات چندمقیاسی برگزار شده است [8، 10 و 23]. گرچه در سال‌های اخیر، مجموعه بزرگ و رو به رشدی از ادبیات در فیزیک، شیمی، بیولوژی و مهندسی روی روش‌های گوناگون متناسب کردن مدل‌های شبیه‌سازی دو یا چندمقیاسی متمرکز شده - که به توسعه رویکردهای مدل‌سازی چند سطحی مختلفی منجر شده - ولی بهر حال، پیشرفت در مدل‌سازی چندمقیاسی به شدت کند بوده است.

## ۲-۲ - صحنه‌گذاری، معتبرسازی و اندازه‌گیری<sup>۲۱</sup> عدم

### اطمینان

هدف غایی شبیه‌سازی، پیش‌گویی رویدادهای فیزیکی یا رفتارهای سیستم‌های مهندسی شده، است. پیش‌گویی‌ها، مبنای تصمیمات مهندسی و عامل تعیین‌کننده در طراحی محصول یا سیستم هستند. آنها پایه‌ای برای کشف علمی و دلیل اصلی‌ای هستند که علوم محاسباتی<sup>۲۲</sup> می‌تواند خود را در ماورای قلمرو تجربیات و مشاهدات فیزیکی تصویر کند. بنابراین طبیعی است که پرسیم آیا تصمیمات خاص می‌توانند به خروجی‌های

سریع‌تر شکست نخواهد خورد. بنابراین باید روش‌های اساسی تصور از روش‌شناسی‌های علمی و مهندسی تغییر یابد. چنین چالش اضطراب‌آور، برجسته و مهم در مفهوم خود، فراتر از توانمندی تک تک افراد و رشته‌ها است. کسب توفیق لازم در ریاضیات محاسباتی و توسعه روش‌های جدید برای مدل‌سازی رویدادهای طبیعی در مقیاس‌های چندگانه، نیاز به کوشش تیم‌های بین‌رشته‌ای محققان و متفکران که هماهنگ کار می‌کنند، خواهد داشت.

نمونه‌هایی از روش‌های ابتدایی و اغلب خلق‌الساعه که پیشرفت فن‌سالارانه را کند کرده‌اند عبارتند از:

طراحی نانو دستگاه‌ها: نانو دستگاه‌ها سیستم‌هایی با جرم‌های کوچک و مساحت‌های رویه‌ای نسبتاً بزرگ هستند. طراحی چنین دستگاه‌هایی نیاز ضروری به ابزار جدید شبیه‌سازی دارد؛ زیرا آنها در مقیاسی بسیار کوچک هستند که نمی‌توانند با مکانیک پیوستار<sup>16</sup> جذب شوند. مثال دیگر، وسایل کاربردی بیولوژیکی است که نیاز به روش‌هایی دارد که مقیاس‌های زمانی متنوعی را بهم مرتبط می‌کنند. برای مثال، دنباله رویدادهای پس از یک پیوند پزشکی<sup>17</sup>، به وسیله تعاملات بین مولکول‌های منفرد آب و سطح پیوند آغاز می‌شود. این اولین مجموعه از تعاملات، در یک مقیاس زمانی نانوثانیه اتفاق می‌افتد. "پوسته" آبی حاصل، به نوبت، یک اثر روی پروتئین‌ها و سایر انواع مولکول‌ها که بعداً می‌رسند دارد. این مجموعه دوم از تعاملات، یک مقیاس زمانی از میکروثانیه به میلی‌ثانیه دارد. در این صورت، یک شکاف زمانی معنی‌دار در رفتار وجود دارد که مدل‌سازی آن مشکل است. به طور مشابه، شکاف‌های زمانی در رفتار پلیمرها سبب مشکلاتی برای روش‌های فعلی شبیه‌سازی می‌شود.

کاربردهای خیلی مهم نانوفناوری در حال پدید آمدن است. به عنوان یک نتیجه، نیاز به توسعه ابزار چندمقیاسی به طور معنی‌داری رشد کرده است. برای مثال، می‌دانیم که تراکم‌های کوچک عامل‌های بیولوژی و شیمی می‌توانند اثرات مهلک و خطرناکی روی بخش‌های بزرگ جامعه بشری داشته باشند. تشخیص این تهدید، موجب توسعه روش‌های جدید کاهش و تسکین مانند حسگرهای هوشمند کوچک‌سازی شده، لباس‌های محافظ و ماسک‌ها شده است. نیاز برای مواد نانوساخت یافته<sup>18</sup> در کاربردهای امنیت ملی - علاوه بر کاربردهای ایتیکی و

19 - Turbulence Modeling

20 - Moor's Law

21 - Validation, Verification and Quantification

22 - Computational Science (علوم بر مبنای استفاده از کامپیوتر)

16 - Continuum Mechanics

17 - Medical Implant

18 - Nanostructured

می‌توانند نامعتبرسازی شوند. بنابراین، همه فرآیندهای معتبرسازی به معیار و متریک پذیرش مقرر شده<sup>28</sup> متکی هستند. در نتیجه، تحلیل گر قضاوت می‌کند که آیا مدل در رابطه با مشاهدات فیزیکی، تجربیات و معیار مبتنی بر تجربه و قضاوت نامعتبر است یا خیر.

به عبارت دیگر، فرآیندهای صحت‌گذاری، عملیات جسورانه ریاضیاتی و کامپیوتری بوده و شامل قراردادهای مهندسی نرم‌افزار، کنترل و آشکارسازی نقص<sup>29</sup>، روش‌های برنامه‌ریزی علمی و به طور عمده، یک تخمین خطای پسین<sup>30</sup> هستند.

در نهایت، شگفت‌انگیزترین جنبه V&V به عدم اطمینان در مدل‌های ریاضی توصیف داده‌ها از طبیعت مربوط می‌شود. در برخی حالت‌ها، پارامترهای تعریف‌کننده مدل‌ها از طریق آزمون‌های آزمایشگاه‌ها، اندازه‌گیری میدانی یا مشاهدات تعیین می‌شوند، ولی مقادیر اندازه‌گیری شده آن پارامترها همیشه از یک نمونه به نمونه دیگر یا از یک مشاهده تا مشاهده بعدی تغییر می‌کند. به علاوه، دستگاه‌های تجربی مورد استفاده برای بدست آوردن داده‌ها ممکن است خطاهای خود را به دلیل عوامل غیرقابل کنترل، موسوم به پارازیت<sup>31</sup>، یا خطاهایی در کالیبراسیون عرضه کنند. برای برخی پدیده‌ها، اطلاعات کمی اندکی شناخته می‌شود، یا دانش موجود از فرآیندهای فیزیکی حاکم ناکامل یا غیردقیق است و یا ابدا داده‌های لازم و موردنیاز برای تکمیل تعریف مدل موجود نیست.

در این صورت ممکن است عدم اطمینان ناشی از تغییرپذیری در داده‌ها به دلیل عوامل غیرقابل اندازه‌گیری یا ناشناخته، مانند دانش ناکامل از فیزیک زیربنایی یا ناشی از طبیعت ذاتی تمام مدل‌ها به عنوان توصیف‌های ناکامل طبیعت باشد؛ چراکه عدم اطمینان‌های ذهنی<sup>32</sup> نامیده می‌شوند. برخی معتقدند از آنجایی که داده به خودی خود نمی‌تواند با اطمینان مطلق اندازه‌گیری و تعیین شود، تمام عدم اطمینان‌ها، ذهنی هستند. منبع عدم اطمینان هر چه باشد، فنون اندازه‌گیری و تعیین آن و استفاده آن در روش‌ها و تفسیر پیشگویی‌های شبیه‌سازی باید توسعه پیدا کنند.

اگرچه روش‌های تعیین عدم اطمینان برای مدت نیم قرن و تا حدودی مورد مطالعه قرار گرفته است اما استفاده از آنها در

پیش‌گویی شده یک رویداد متکی باشند. پیش‌گویی‌های یک شبیه‌سازی رایانه‌ای چقدر درست هستند؟ با چه سطحی از اطمینان می‌توان یک خروجی پیش‌گویی شده را به لحاظ آنچه ممکن است درباره سیستم فیزیکی و مدل مورد استفاده برای توصیف آن شناخته شود، نسبت داد؟ علم، فناوری و در بسیاری روش‌ها، فلسفه تعیین و اندازه‌گیری قابلیت اطمینان شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و پیش‌گویی‌های آنها به عنوان V&V یا صحت‌گذاری و معتبرسازی<sup>23</sup> شناخته می‌شود. روش‌های V&V، برای موفقیت و پیشرفت عم‌مش<sup>24</sup> نقش اساسی دارند.

برای ارزیابی ظرافت‌ها و اهداف V&V، باید اول فرآیند شبیه‌سازی را بررسی و تحلیل کرد. ابتدا تحلیل گر (مدل‌ساز، دانشمند یا مهندس) با درک مفهومی رویدادهای معین فیزیکی موردنظر و نظریه‌های علمی شرح دهنده آنها (پدیده‌های فیزیکی هدف یا سیستم مهندسی شناسایی شده برای مطالعه)، برای رویداد یک مدل ریاضی می‌سازد. مدل ریاضی مجموعه‌ای از سازه‌های ریاضی، معادلات، نامعادلات، محدودیت‌ها و ... است؛ که به وسیله نظریه یا نظریه‌هایی که رویدادها را مشخص می‌کنند دیکته می‌شود. تحلیل گر سپس یک مدل محاسباتی<sup>25</sup> از رویداد را ایجاد می‌کند. مدل محاسباتی (رایانه‌ای) یک تقریب منطقی از مدل ریاضی بوده و هدف آن پیاده‌سازی تحلیل روی یک رایانه است. معتبرسازی، فرآیند ذهنی است که درستی آشکارسازی رویداد فیزیکی واقعی توسط مدل ریاضی را تعیین می‌کند. صحت‌گذاری، فرایندی است که دقت ارائه مدل ریاضی توسط مدل محاسباتی را تعیین می‌کند. به عبارت ساده، معتبرسازی به این معنی است که "آیا معادلات درست، حل شده‌اند؟" در حالی که صحت‌گذاری می‌پرسد، "آیا معادلات به طور درست حل شده‌اند؟"

بسیاری از جنبه‌های V&V در منطقه خاکستری بین فلسفه علم، نظریه تصمیم‌گیری<sup>26</sup>، ریاضیات و فیزیک سخت<sup>27</sup> باقی می‌مانند. فیلسوف قرن بیستم، کارل پوپر تأکید کرده است که یک نظریه علمی نمی‌تواند معتبرسازی شود، فقط می‌تواند نامعتبرسازی شود. از آنجا که مدل ریاضی یک رویداد فیزیکی بیانی از یک نظریه است، چنین مدل‌هایی نمی‌توانند هرگز به طور واقعی و به معنای دقیق کلمه معتبرسازی شوند؛ فقط

23 Verification and Validation

24 علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی (SBES)

25 Computational Model

26 Subjective Decision Theory

27 Hard Mathematics and Physics

28 Prescribed Acceptance

29 Bug Detection

30 Posteriori Error Estimation

31 noise

32 Subjective Uncertainties

به صورت بر خط<sup>37</sup> به آنها پاسخ دهند و/یا چنین اندازه‌هایی را کنترل کنند" توضیح داده است. "این حلقه کنترل بازخورد همزیست و هم‌کوش<sup>38</sup> در میان برنامه‌های کاربردی، شبیه‌سازی‌ها و اندازه‌ها، یک مسیر فنی نوظهور است که می‌تواند حیطه‌های جدیدی را در توانمندی‌های شبیه‌سازی‌ها با بازدهی‌ها با پتانسیل بالا باز کرده و برنامه‌های کاربردی با توانمندی‌های بهبودیافته و جدید را ایجاد کند."

برای توسعه DDDAS، باید مسائلی شامل پیچیدگی سیستم‌ها، وسعت تخصص‌ها و فناوری‌های موردنیاز برای پیاده‌سازی سیستم‌ها، زیرساخت‌های جدید نرم‌افزاری، کارایی و ظرفیت سیستم‌های مدیریت داده‌ها و رایانه‌ای (محاسباتی) موردنیاز حل شود. موفقیت در تمام این جبهه‌های مقدم فن‌سالارانه به یک برنامه بی‌وقفه و خوب سرمایه‌گذاری شده تحقیقات پایه‌ای و کاربردی در طی یک دهه یا بیشتر نیاز خواهد داشت. بازده‌ها، بهر حال، خیلی مهم هستند به طوری که بالاترین اولویت باید به توسعه و کشف این رشته پایه‌ای عمده داده شود. DDDAS در ایالات متحده یک مفهوم تعریف شده و ارتقاء یافته است. خشنودی فعلی ما در این فناوری باعث می‌شود که از دنیا عقب بیفتیم.

بلوک‌های پایه‌ای ساخته‌شده DDDAS شامل موارد زیر است:

- 1) یک سلسله مراتب از مدل‌های شبیه‌سازی همگن؛
  - 2) سیستمی برای جمع‌آوری داده‌ها از منابع آرشیوی و دینامیک؛
  - 3) الگوریتم‌هایی برای تحلیل و پیش‌گویی رفتار سیستم به وسیله ترکیبی از مدل‌ها و داده‌های شبیه‌سازی؛
  - 4) الگوریتم‌هایی برای هدایت و کنترل فرآیندهای جمع‌آوری داده‌ها و معتبرسازی مدل؛
  - 5) زیرساخت نرم‌افزاری پشتیبانی اجرای مدل، جمع‌آوری داده‌ها، پیش‌گویی تحلیل و الگوریتم‌های کنترل.
- در بسیاری از روش‌ها، DDDAS در مورد معتبرسازی و صحت‌گذاری پیش‌گویی‌های رایانه‌ای تجدیدنظر می‌کند. دیگر معتبرسازی، یک عمل بدون بازگشت برای قضاوت قابلیت پذیرش یک مسأله شبیه‌سازی بر مبنای یک مجموعه داده‌های ایستا<sup>39</sup> نیست. در DDDAS، معتبرسازی یک قسمت از فرآیند

شبیه‌سازی‌هایی با مقیاس بزرگ به ندرت شروع شده است. چون پارامترهای مدل می‌توانند اغلب به عنوان میدان‌های تصادفی تلقی شوند، طرح‌ریزی‌ها و دستورالعمل‌های احتمالی، یک رویکرد را برای تعیین عدم اطمینان، هنگامی که اطلاعات آماری فراوان و کافی در دسترس است، فراهم می‌کنند. از طرف دیگر، استفاده از مدل‌های تصادفی، باعث افزایش خیلی زیاد در پیچیدگی حجم، ذخیره‌سازی، دستکاری و نیازمند بازبازی داده‌ها خواهد شد. سایر رویکردهایی که برای تعیین عدم اطمینان پیشنهاد شده‌اند، عبارتند از: روش‌های آشفتگی تصادفی<sup>33</sup>، مجموعه‌های فازی، آمارهای بیزی، نظریه شکاف اطلاعات<sup>34</sup> و نظریه تصمیم. توسعه روش‌شناسی‌های قابل اطمینان - الگوریتم‌ها، رویه‌های مدیریت و به دست‌آوری داده، نرم‌افزار و نظریه - برای تعیین عدم اطمینان در پیش‌گویی‌های رایانه‌ای به عنوان یکی از مهم‌ترین و اضطراب‌آورترین چالش‌ها در عمده‌ش پیشرفته پابرجا می‌ماند.

## 2-3- سیستم‌های شبیه‌سازی دینامیک، حسگرها، معیارها و شبیه‌سازی‌های همگن

یکی از پرچالش‌ترین کاربردهای عمده‌ش، که ممکن است بیشترین سود را نتیجه دهد، اتصال مستقیم ابزار شبیه‌سازی به دستگاه‌های اندازه‌گیری برای کنترل زمان حقیقی پیش‌گویی‌های رایانه‌ای و شبیه‌سازی‌ها است. برخی سرمایه‌گذاری‌های مقدماتی در تحقیقات این ایده جدید تحت برنامه NSF در سیستم‌های کاربردهای داده محور دینامیک (DDDAS)<sup>35</sup> [7 و 9] انجام شده است. توسعه کامل این مقررات انقلابی و بسیار مهم به سال‌ها توسعه فن‌سالارانه و تحقیقاتی نیاز خواهد داشت. مفهوم DDDAS که به عنوان یک الگوی جدید در شبیه‌سازی رایانه‌ای پیش‌بینی می‌شود، مفهومی شامل یک "سیستم کنترل بازخورد همزیست<sup>36</sup>" است [7 و 9] که در آن شبیه‌سازی‌ها و تجربیات (یا داده‌های میدانی) در زمان حقیقی برای بهبود چشمگیر کیفیت ابزار شبیه‌سازی، دقت و قابلیت اطمینان آن تعامل می‌کنند.

مستنداتی که در اصل ایده را مطرح می‌کنند [7] و اکنون متجاوز از 10 سال است که کهنه شده، هدف DDDAS را این-گونه توضیح می‌دهد که: توسعه "شبیه‌سازی‌های برنامه کاربردی که می‌توانند به طور پویا داده‌های میدانی و اندازه‌ها را پذیرفته و

33 Stochastic perturbation methods

34 Gap theory - Information

35 Dynamic Data\_Driven Applications Systems

36 Symbiotic

37 Online

38 Synergistic and Symbiotic

39 Static

نبوده و نمی‌توانند به آسانی به سخت‌افزار جدید منتقل شوند.<sup>43</sup> بنابراین رویکردهای جدید برای توسعه نرم‌افزار که مدل‌ها و روش‌های استفاده شده در ع‌م‌ش را دربرگیرد، مورد نیاز هستند. پژوهشگران باید روش‌شناسی‌هایی را که از قابلیت تبادل اطلاعات<sup>43</sup> مؤلفه‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی پشتیبانی می‌کنند شناسایی کنند. سپس باید آن روش‌شناسی‌ها را توسعه داده و در نسل بعدی نرم‌افزار مهندسی ادغام کنند. این تحقیق برای روش‌ها و ابزار جدید در حمایت از توسعه نرم‌افزار شبیه‌سازی مملو از مشکلات است. نه تنها فراهم کردن مؤلفه‌های جدید شبیه‌سازی نیاز به الگوریتم‌های پیچیده دارند، بلکه آنها باید به طور مؤثری روی طیف وسیعی از معماری‌های طراحی شده برای محاسبات موازی مقیاس بزرگ عمل کنند.

نرم‌افزار آتی ع‌م‌ش نیاز به درجات فوق‌العاده از استواری<sup>44</sup>، کارایی و انعطاف‌پذیری دارد. نرم‌افزار جدید نه تنها باید الگوریتم‌های شبیه‌سازی را اجرا نماید، بلکه باید به طور پویا کارایی داده‌ها و سازگارپذیری و کنترل مدل را مدیریت کند. این نرم‌افزار باید سیستم‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری<sup>45</sup> را برای بهینه کردن جمع‌آوری و استفاده داده‌ها هدایت کند. همچنین باید نظریه‌های چندفیزیکی را دربرگیرد و از روش‌های قابل ارتقا<sup>46</sup> که به طور یکنواخت با دستگاه‌های جمع‌آوری داده تعامل دارند، برخوردار باشد.

اکثر ابزارهای مدرن توسعه نرم‌افزار مانند کتابخانه‌ها (برای نمونه، حل‌کنندگان معادلات خطی)، ابزار با قابلیت کاربرد متقابل زبان، ابزار اتصال قطعات و انتقال داده‌ها و چارچوب‌های توسعه شبیه‌سازی الزامات ع‌م‌ش را برآورده نمی‌کنند. برای تعریف نیازمندی‌های حقیقی جهت پیاده‌سازی فناوری‌های ع‌م‌ش، به یک الگوی جدید توسعه نرم‌افزار نیاز است. چنین تغییر اساسی مستلزم فکرها<sup>47</sup> "تازه" درباره روش برخورد با توسعه نرم‌افزار و بکار بستن مهندسی است. توسعه‌دهندگان نرم‌افزار در آینده نه تنها مجبورند با سیستم‌های پیچیده‌تر و سیستم‌های سخت‌افزاری همگن<sup>47</sup> دست و پنجه نرم کنند، بلکه مجبورند جزئیات مهم برنامه‌های کاربردی را بفهمند.

در حالی که آینده نرم‌افزار ع‌م‌ش به طور وسیعی ناشناخته است، کار یافتن مسیر تحت بررسی است. یک گروه دولتی فدرال

کنترل پویا<sup>40</sup> است که ضعف‌ها و کمبودهای مدل رایانه‌ای را شناسایی و ارزیابی کرده و مدل را در حین اجرا ارتقا داده و بهبود می‌بخشد. این درگیرکردن معتبرسازی در دینامیک مدل، به طور شگرفی قدرت پیشگویی مدل را غنی کرده و باعث افزایش اطمینان در نتایج پیش‌گویی شده می‌شود.

DDDAS به طور پویا داده اندازه‌گیری شده را به یک شبیه‌سازی در حال اجرا مربوط می‌کند. پس از آن، شبیه‌سازی، به طور پویا فرآیند اندازه‌گیری را هدایت می‌کند. برای انجام این عملیات، DDDAS محاسبات عددی در مقیاس بزرگ را با محاسبات داده‌های فشرده، حس‌گرها، تصویربرداری، محاسبات شبکه‌ای و سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری یکپارچه می‌کند. توسعه این فناوری نیازمند مفاهیم جدید در زیرساخت نرم‌افزاری، الگوریتم‌ها، قراردادهای کنترل و حل‌کننده‌ها<sup>41</sup> است. به هر حال این فناوری، فهرست بی‌پایانی از برنامه‌های کاربردی مانند: روش‌های جراحی، امنیت ملی، کنترل مواد خطرناک، درمان‌های محیطی، حمل‌دارو، فرآیندهای ساخت، مدیریت مخازن نفت، کنترل پرواز و ... را پیشنهاد می‌کند.

#### 4-2- چشم‌اندازهای جدید در نرم‌افزار شبیه‌سازی

بسیاری از جوامع مهندسی مدرن، به نرم‌افزار شبیه‌سازی به صورت کالایی که فروشندگان (دوره‌گرد) برای محدوده‌های معین و مستقل از کاربرد فراهم می‌آورند، نگاه می‌کنند. گاهی، این گداهای بادوام برای تحلیل مهندسی، بهبودهای فزاینده را به شکل ملحقات اساسی<sup>42</sup> دریافت می‌کنند. این رویکرد کُند برای توسعه نرم‌افزار، از نسل بعدی مسائل و مشکلات مهندسی مانند چند مقیاس بودن با تعامل داده‌های زمان حقیقی و عدم اطمینان‌های فراوان در داده‌ها حمایت نخواهد کرد. بر اساس گزارش PITAC [14]، "امروزه توسعه نرم‌افزار علمی محاسباتی و برنامه‌های کاربردی با یکدیگر بسیار دشوار است. محیطها و جعبه ابزارها برای ارضای نیازهای توسعه‌دهندگان نرم‌افزاری در پرداختن به مسائل بین‌رشته‌ای خیلی پیچیده ناکافی هستند. نرم‌افزار به جای مانده یک مشکل پایدار باقی می‌ماند؛ زیرا طول عمر یک برنامه کاربردی علمی محاسباتی به طور معنی‌داری بزرگتر از چرخه عمر سه تا پنج ساله یک سیستم محاسباتی است. به علاوه، از آنجائی که هیچ سازگاری در بهترین تجربیات مهندسی نرم‌افزار وجود ندارد، بسیاری از کاربردهای جدید استوار

43 Interoperability

44 Robutness

45 Observational and Measurement Systems

46 Scalable

47 Heterogeneous

40 Dynamic

41 Solvers

42 Functional Extensions

در فناوری‌های محاسباتی را درک کند، باید تا حدودی دانش و کشفیات ریاضیات، علوم رایانه، مهندسی و علوم ملک و مملکت<sup>58</sup> را در هم ادغام نمود. با تلقی عمم‌ش در فصل مشترک آن شاخه‌ها، می‌توان عمم‌ش را به عنوان یک ابر شاخه<sup>59</sup> در نظر گرفت.

پارادایم جدید تحقیق و توسعه نرم‌افزار عمم‌ش امکان خصوصی‌سازی با مسئولیت پاسخ‌گویی متقابل را خواهد داد. همانطور که تصور شد، تیم‌های مأموریت محور<sup>60</sup>، در وهله اول مهندسیین شاغل، سیستم‌های مهندسی را که نیاز به موفقیت در روش‌های شبیه‌سازی (برای مثال، اعضای مصنوعی یا شبکه‌های توزیع) دارند، تعریف و مدل‌سازی خواهند کرد. به علاوه، مهندسیین، با احتیاط، رابط‌های داده‌ها<sup>61</sup> و وظایف محاسباتی<sup>62</sup> بین آن رابط‌ها را شناسایی خواهند کرد. از آنجا، تیم‌های "تکنولوژیست‌های توانمند" در درجه اول ریاضی‌دانان و دانشمندان رایانه، به مسئله نیازمندی‌های نظری و انتزاعی شناسایی شده توسط تیم‌های مأموریت محور پرداخته و مؤلفه‌های نرم‌افزاری را که به معماری‌های هدف (برای مثال، کامپیوترهای با حافظه انبوه موازی توزیع شده) تبدیل شده‌اند، توسعه خواهند داد.

## 2-5- ضرورت داده بزرگ<sup>63</sup> در شبیه‌سازی و نقش تجسم در عمم‌ش

از زمان ظهور محاسبات، جهان یک "انفجار بزرگ"<sup>64</sup> از اطلاعات و داده را تجربه کرده است. اطلاعات با نرخ نمایی در حال ایجاد است. از سال 2003، اطلاعات دیجیتال، 90 درصد کل تولید اطلاعات را، که به طور وسیعی از مقدار کاغذ و فیلم فراتر می‌رود، تشکیل داده است. یکی از بزرگترین چالش‌های علمی و مهندسی قرن بیست و یکم درک و استفاده موثر از این حجم رشد یابنده اطلاعات است.

در مهندسی محاسباتی و محیط علمی که در آستانه پایان قرن قبل وجود داشت، محاسبات با داده‌های زیاد و محاسبات علمی در مقیاس بزرگ به طور اساسی در اردوگاه‌های مجزا بودند. یکی مجموعه‌های داده بزرگ را منتقل و ذخیره نموده و مورد دستکاری و عمل قرار می‌داد و دیگری راهبردهای

امریکا، برای مثال، به کمک یک فلسفه نرم‌افزاری ابتکاری به نام کشف علمی از طریق محاسبات پیشرفته (SciDAC)<sup>48</sup> [26]، نرم‌افزار را توسعه داده است.<sup>49</sup> طبق سازماندهی انجام شده در سال 2001، SciDAC یک برنامه بین‌رشته‌ای است که عهده دار یافتن روش‌هایی برای شکل بخشیدن ریاضیات بسیار پیشرفته و علوم کاربردی حوزه معین به صورت کدهای استوار شده است که به طور مؤثری روی ابررایانه‌های در مقیاس نجومی فعلی اجرا می‌شوند. این برنامه‌های کاربردی حوزه‌هایی مانند مدل‌سازی آب و هوای جهانی<sup>50</sup>، گداخت پلاسما<sup>51</sup>، کرومودینامیک کوانتوم<sup>52</sup>، شتاب‌دهنده‌ها، احتراق، و ابرنوآخترها<sup>53</sup>، به علاوه ریاضیات و علوم رایانه مرتبط با آن رشته‌ها را در بر می‌گیرد. اکثر این مجموعه تحقیقاتی شامل کوشش‌های هماهنگ شده دانشمندان حوزه اختصاصی در تشریح مساعی با ریاضی‌دانان، دانشمندان رایانه و متخصصین محاسباتی است. یکی از محصولات اصلی SciDAC نرم‌افزار قابل اشتراک<sup>54</sup> است که توسعه آن تلاش جدی یک نیروی کار دائمی را می‌طلبد. به همین دلیل، مرکز ثقل بخش اعظم انجام کار در این شاخه در آزمایشگاه‌های ملی است. به هر حال، آشکار است که مسائل، بزرگتر و پیچیده‌تر از آن هستند که هر مؤسسه‌ای بخواهد به تنهایی از عهده آن برآید. باید تشکیل تیم‌های پژوهشگران را، برای کار در یک محیط نرم‌افزاری مشترک و گروهی، که بتوانند از منابع و تخصص توزیع شده سود ببرند، مورد تشویق قرار داد.

آژانس امنیت ملی هسته‌ای DOE<sup>55</sup> نیز به شدت در علوم محاسباتی درگیر شده است. در اواسط 1990، این آژانس به یک برنامه بلندپروازانه اداره ذخیره و انبار<sup>56</sup> مبادرت کرده است. نقش برنامه، ابتکار عمل محاسبه راهبردی شتاب یافته (ASCI<sup>57</sup>) بود. با ده برابر سرمایه‌گذاری SciDAC، برنامه ASCI، درصدد استفاده از شبیه‌سازی برای مدیریت ذخیره هسته‌ای کشور، به عنوان یک جایگزین برای آزمون واقعی دستگاه‌ها است که توسط پیمان بین‌المللی ممنوع شده است.

اگر علوم مهندسی قرار است تمام منافع پیشرفت‌های سریع

## 48 Scientific Discovery Through Advanced Computing

۴۹ همچنین فصل 2 از [18] را ملاحظه کنید.

50 Global Climate

51 Plasma Fusion

52 Quantum Chromodynamics

53 Super Novae

54 Sharable

55 DOE's National Nuclear Security Agency

56 Stockpile Stewardship

57 Accelerated Strategic Computing Initiative

58 Domain Sciences

59 Super-Discipline

60 Mission-Driven

61 Data Interfaces

62 Computational Tasks

63 Big Data

64 Big Bang



ممکن است ارائه‌های بصری ایستا یا تعاملی<sup>70</sup> داده‌ها را، بسته به نیازهای کاربر و اینکه هدف نهایی، توصیف یا اکتشاف داده باشد، فراهم کنند.

ارائه بصری اطلاعات، دارای آداب و رسوم تاریخی غنی است که در ابتدا در ترسیم‌های دستی مانند ترسیم‌های آناتومی، صفحات گسترده<sup>71</sup> یا گرافیک‌های پایه مورد استفاده قرار می‌گرفت. اکنون، گرافیک رایانه‌ای، برای بکارگیری مجموعه‌های داده بسیار بزرگتر از آنهایی که می‌توانست به طور دستی تجسم شود، توانایی دارد. به علاوه، گرافیک رایانه‌ای امکانات جدیدی را در انیمیشن و تعاملی بودن پیشنهاد می‌کند. تجسم، برای آشکارسازی الگوها، ارزیابی موقعیت‌ها و اولویت‌بندی وظایف مفید است. محاسبات به تنهایی به درک و فهم منجر نمی‌شود. کاربر نهایی نیز به یک واسط قابل درک با خروجی محاسباتی نیاز دارد. تجسم، آن رابط را فراهم می‌کند و در عمل کلید تفسیر و تعبیر داده‌ها می‌شود.

مهندسی در ساختن تصمیم‌های پیچیده و تحلیل‌ها، بخصوص با فعالیت‌هایی شامل مقادیر زیادی داده، نیاز به کمک دارند. آنها اغلب مجبورند با موقعیت‌های فوق‌العاده خاص<sup>72</sup> سر و کار داشته باشند و تجسم موقعیت به آنها در فیلتر کردن داده‌های نامناسب کمک می‌کند. مهندسی می‌توانند از سیستم‌های تحلیل بصری در بررسی و کاوش سناریوهای "اگرچه"<sup>73</sup> و برای آزمایش داده‌ها، تحت فرض‌ها<sup>74</sup> و منظرهای<sup>75</sup> چندگانه استفاده کنند. آنها می‌توانند ارتباطات بین هر تعداد مشخصه<sup>76</sup> را شناسایی و قابلیت اطمینان هر نتیجه‌گیری را ارزیابی کنند [15].

تحقیقات تجسم باید به طور مستمر به نیازهای جامعه علمی پاسخ داده و آنها را نشان دهد. برای مثال، توانایی در مجسم کردن معیارهای خطا و عدم اطمینان برای یک درک بهتر از داده‌های سه‌بعدی شبیه‌سازی اساسی خواهد بود. این درک، اعتبارسنجی مدل‌های جدید نظری را ممکن ساخته، تفسیر داده‌ها را بهبود بخشیده و تصمیم‌سازی را تسهیل خواهد کرد. با چند استثناء، تحقیقات تجسم، نیاز به ارائه بصری خطاها و عدم اطمینان برای تجسم‌های سه‌بعدی را نادیده گرفته است [16].

محاسباتی موازی قابل ارتقا را برای حل مدل‌های محاسباتی خیلی بزرگ مسائل علمی و مهندسی پیاده‌سازی می‌کرد. عصر جداسازی سپری شده است. در تمام برنامه‌های کاربردی عمده‌ش که در این قسمت مقاله مورد بحث قرار گرفت، استفاده و تولید مجموعه‌های داده بسیار بزرگ و مؤلفه‌های یکپارچه است. برای مثال، تعیین عدم اطمینان، به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی عمده‌ش، به مجموعه‌های داده به مراتب بزرگ‌تر از مجموعه داده‌های محاسبات قطعی<sup>65</sup> سنتی نیاز خواهد داشت. DDDAS، طبق تعریف، متقاضی روش‌های جدید خواهد بود که به سرعت مجموعه‌های بزرگ داده را در سراسر شبکه‌های محاسباتی یا شبکه‌های با پهنه بالای باند<sup>66</sup> تولید، ذخیره، دستیابی و منتقل می‌کنند. سپس مسئله تفسیر نتایج شبیه‌سازی وجود دارد، مسئله‌ای که می‌تواند مجموعه‌های غول‌آسای داده را دربرگیرد.

تجسم<sup>67</sup>، از مهمترین ابزار رویارویی با مهار انفجار شتاب‌گیر اطلاعات است. در واقع، توانمندی‌های تجسم اثر فوق‌العاده روی تحقیقات علوم، بیوپزشکی و مهندسی، امنیت دفاعی و ملی و نوآوری‌های صنعتی خواهد داشت.

دلیل قدرتمند بودن ابزار تجسم این است که برای توانایی در تفسیر مدل‌های پدیده‌های پیچیده، مانند مدل‌های چندسطحی روانشناسی انسانی از DNA تا کل اندامها، شیفت‌های چندقرنی آب و هوایی<sup>68</sup> یا شبیه‌سازی‌های چندبعدی جریان هوایی که از کنار بال یک جت عبور می‌کند، عامل اساسی محسوب می‌شود. تجسم، جریان‌های داده را به سرعت و به طور مقرون به صرفه کاهش داده و بهبود می‌بخشد؛ از این رو قادر به غربال حجم‌های عظیم داده خواهیم بود. تجسم، برای حل مسائل در کاربردهایی مانند دینامیک توفان شدید<sup>69</sup> و امنیت ملی، دانش جدیدی را تولید می‌کند که از مرزهای سنتی شاخه عبور می‌کند. سرانجام، استفاده از تجسم به سرعت، تجربیات تجاری و مهندسی را رو به بهبودی سوق می‌دهد [15]، بنابراین مزیت رقابتی صنعت را افزایش می‌دهد.

تجسم به مردم امکان می‌دهد تا ارائه‌های بصری داده‌ها را بسیار سریع‌تر از اعداد یا متن پردازش نشده درک کنند. طراحان ابزارهای تجسم رایانه‌ای، از کانال با پهنای بالای باند برای دریافت بصری انسانی استفاده می‌کنند. سیستم‌های نرم‌افزاری

70 Static Or Interactive

71 Spread Sheets

72 Over-Specified

73 What If

74 Assumptions

75 Perspectives

76 Attributes

65 Deterministic Computing

66 High-Bandwidth

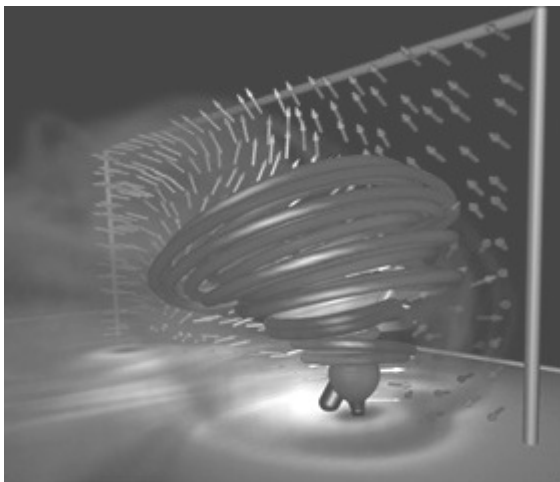
67 Visualization

68 Multi-Century Climate

69 Hurricane Dynamics

چرخه زیستی<sup>88</sup> هستند. انسان‌ها دارای آهنگ روزانه کارایی مغزی هستند که بین دوره‌های کار و استراحت در نوسان‌اند. در روش‌شناسی‌ها چرخه زیستی برای تجسم کمی یا قابل تفسیر گنجانده می‌شود. به عبارت دیگر، باید یک چارچوب ریاضی برای تجسم‌هایی که قدرت دریافت اطلاعات را با تغییر تجسم‌های مکرر آن اطلاعات ممکن می‌سازد، توسعه داد. به علاوه، برای شبیه‌سازی یک تابع (عمل) خاص با استفاده از مدل‌هایی در مقیاس‌های گوناگون، یک فرصت طبیعی برای بازنگری تجسم‌های قبلی خود و انجام مقایسه‌هایی در مقیاس‌های چندانگانه به دست می‌آید [2].

به دلیل پیچیدگی و مقادیر انبوه داده‌های شبیه‌سازی‌ها، پژوهشگران به فنون نیمه خودکار از حوزه چندرشته‌ای داده-کاوی<sup>89</sup> علمی برای استخراج اطلاعات مفید از داده‌ها باز خواهند گشت. برای رسیدن به این هدف، فنون داده‌کاوی، از ایده‌های پردازش تصویر و ویدیو، آمار، تشخیص الگو، بهینه‌سازی ریاضی و سایر زمینه‌ها استفاده می‌کند. این فنون علمی می‌تواند برای مقایسه کمی شبیه‌سازی‌ها با یکدیگر، برای استخراج آمارهای خلاصه شده از شبیه‌سازی‌های با کیفیت عالی برای استفاده در ساختن مدل‌ها و تحلیل داده‌های تجربی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل 1- تجسم بسیار پیشرفته از ناآرامی در جریان قابل اشتعال<sup>90</sup>. توانایی‌های فردا ممکن است شامل ابزار تجسم پرسشی، موازی، ادغام تجسم با شبیه‌سازی‌های دینامیک مقیاس بزرگ رویدادهای پیچیده چند فیزیکی و فنون تمرکز کردن برای تجسم رویدادها در مقیاس‌های چندانگانه باشد.

در حالی که فنون داده‌کاوی می‌توانند در استخراج اطلاعات از

همچنین از سوی دیگر، نیاز به ایجاد یک چارچوب تجسم عمده برای عدم اطمینان و تحقیق ارائه‌های جدید بصری برای مشخص کردن خطا و عدم اطمینان احساس می‌شود.

در کاربردهای عمده و DDDAS، تجسم داده‌های وابسته به زمان بحرانی خواهد بود. در حال حاضر، اکثر فن‌های تعاملی تجسم فقط از داده‌های ایستا استفاده می‌کنند. روش متداول تجسم برای داده‌های وابسته به زمان عبارت است از انتخاب یک زاویه دید<sup>77</sup> و سپس ترسیم خارج از خط<sup>78</sup> گام‌های زمانی و به عقب حرکت دادن تجسم مانند یک ویدیو. در حالی که این رویکرد اغلب برای اهداف نمایشی کافی است، عدم توانایی در پرداختن به توصیف تعاملی، اثربخشی و مناسبت تجسم برای اهداف تحقیقاتی را سست می‌کند. در این صورت، روش‌های جدیدی برای تجسم تعاملی داده‌های با مقیاس بزرگ، وابسته به زمان مورد نیاز است. به علاوه، به روش‌هایی برای تجسم میدان‌های برداری و کششی<sup>79</sup>، داده‌های میدانی که به طور تجربی از منابع چندانگانه جمع‌آوری شده‌اند و توانایی برای تجسم داده‌ها از هردو منظر محلی و سراسری<sup>80</sup> نیاز است.

برای تجسم الگوریتمی نیاز به رویکردهای جدید احساس می‌شود که روی نیازمندی‌های عمده تمرکز کنند. رویکرد اول، تجسم پرسشی<sup>81</sup> است که راه دیگری برای تأیید سؤال و جواب کمی بدست آمده از طریق تحلیل و ترسیم سریع حوزه‌ها<sup>82</sup> و میدان‌های<sup>83</sup> تابع محاسبه شده است. رویکرد دوم، تجسم تفسیرپذیر<sup>84</sup> است. تجسم تفسیرپذیر، روی اطلاع رسانی و فنون تفسیر داده‌های تصویری، به علاوه داده‌های گوناگون تحلیل کمی تمرکز می‌کند. برای مثال، رفتن از داده تصویری به سمت ساختن یک مدل قلمرو<sup>85</sup>، وظیفه‌ای دشوار است. بخصوص، جذب و کنترل واقع‌نگری "قلمرو مکانی"<sup>86</sup> در هر یک از مقیاس‌های مطلوب شبیه‌سازی ممکن است در حقیقت غیر ممکن باشد.

رویکرد سوم، تجسم تکرارپذیر<sup>87</sup> است. انسان‌ها دارای چندین

77 Viewing Angle

78 Off-line

79 Vector and Tensor Fields

80 Local and Global Perspective

81 Interrogative

82 Domains

83 Fields

84 Interpretive

85 Domain Model

86 Spatial Domain

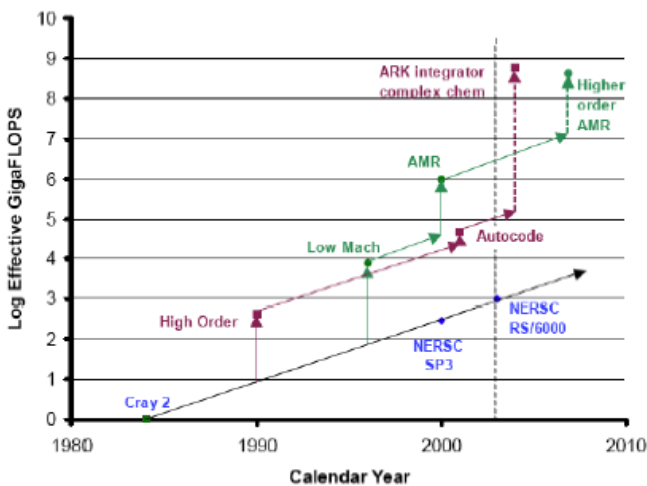
87 Repetitive

88 Biorhythms

89 Data Mining

90 Combustible Flow

ملاحظه‌ای را در این زمینه ذکر کرده است [3, 13 و 18]. شکل شماره 2 مثالی از آن پیشرفت را نشان می‌دهد. این شکل، بهبودهای عملکرد را برای شبیه‌سازی‌های مقیاس بزرگ احتراق متلاطم فاز گازی آشکار می‌کند [19: 79]. همانطور که مثال نشان می‌دهد، پیشرفت در الگوریتم‌های شبیه‌سازی، عملکرد اثربخش را روی آن به دلیل پیشرفت در سرعت پردازنده تنها در یک دوره چند دهه‌ای، سه برابر کرده است. نتایج مشابهی در بسیاری از حوزه‌های دیگر، مانند هیدرودینامیک مغناطیسی<sup>96</sup> و انتقال تشعشع<sup>97</sup> مستندسازی شده است و باید به منظور به دست آوردن و مستند کردن نتایج قانون آبرمور<sup>98</sup> در تمام زمینه‌های عمده‌ش کوشش شود.



شکل 2- افزایش زمان‌های حل ناشی از الگوریتم‌های جدید، در یک دوره زمانی که قانون مور معتبر باقی می‌ماند. افزایش‌ها بر حسب لگاریتم گیگافلاپ‌های موثر است [19: 79].

از پرچالش‌ترین مسایل برای الگوریتم‌های جدید، مسایل بهینه‌سازی و معکوس هستند. تصمیم‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی باعث رخداد مسایل پیچیده بهینه‌سازی می‌شود که با شبیه‌سازی‌هایی در مقیاس بزرگ تعیین و کنترل می‌شوند. این مسائل بهینه‌سازی در طراحی مهندسی (که در آن متغیرهای تصمیم‌گیری، پیکربندی و جایگزینی سیستم را نشان می‌دهند) و در ساخت و عملیات (که در آن متغیرهای تصمیم‌گیری پارامترهای کنترلی را نشان می‌دهند) ظاهر می‌شوند. به علاوه، تصمیم‌سازی‌ای که به وسیله شبیه‌سازی پیش‌گویی‌کننده شکل داده شده است، نیاز به برآورد پارامترهای نامطمئن که شبیه‌سازی را مشخص می‌کند، دارد. پاسخ به مسائل معکوس

داده‌های شبیه‌سازی مفید باشند، هنوز چالش‌های زیادی مانند: استخراج ویژگی‌های موردنظر از بهبودهای انعطاف‌پذیر شبکه<sup>91</sup> و شبکه‌های<sup>92</sup> آشفته، پردازش و تفسیر تصاویر تجربی که اغلب دارای کیفیت پایین هستند، تعریف مترهای مورد استفاده در مقایسه‌های شبیه‌سازی‌ها و آزمایشات و تحلیل مجموعه‌های توزیع شده داده‌های حاصل از شبیه‌سازی‌ها در مورد سیستم‌های موازی، حل نشده باقی می‌مانند [17].

## 2-6- الگوریتم‌های نسل - بعد و عملکرد محاسباتی

الگوریتم‌ها، دستورالعمل‌های تبدیل ریاضیات به فرایندهای محاسباتی را، پل بین مدل‌های توصیفی سیستم‌های فیزیکی و مهندسی شده از یک طرف و دستگاه‌های محاسباتی (رایانه‌ای) که ارائه‌های دیجیتالی شبیه‌سازی‌ها را تولید می‌کنند از طرف دیگر، فراهم می‌کنند. اغلب، تنها سرعت یک دستگاه محاسباتی به عنوان مجسمه شایستگی برای عملکرد شبیه‌سازی، ذکر می‌شود و اثر الگوریتم‌ها روی کاهش پیچیدگی زمان (تعداد عملیات) و پیچیدگی فضا (اندازه حافظه) ارزیابی نمی‌شود. برای بیش از سه دهه، پیشرفت در توانمندی‌های میکروپردازنده توسط قانون مور<sup>93</sup> توضیح داده شده است. سخت‌افزار سریع‌تر و مقرون به صرفه‌تر، یک راه‌انداز<sup>94</sup> قوی برای مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی است. به‌رحال، بهبودهای الگوریتمی بسیار مهم‌تر بوده‌اند.

در محیط فردای عمده‌ش، عملکرد محاسباتی میکروپردازنده‌ها فقط یکی از عوامل مهم بوده و مترهای جدید برای داوری اثربخشی سیستم‌های مبتنی بر اصول عمده‌ش مورد نیاز خواهد بود. اساسی‌ترین مترها شامل: زمان حل<sup>95</sup> در یک محیط چندپردازنده، زمانی که از آغاز فرایند شبیه‌سازی تا خروجی پیش‌گویی شده سپری می‌شود و یک معیار سطح اطمینان برای نتیجه پیش‌گویی شده می‌باشند، اگر زمان حل کوتاه ولی کیفیت و اطمینان در جواب پایین باشند، پیش‌گویی ممکن است دارای ارزش پایینی باشد.

الگوریتم‌های بهبودیافته، نتایج عملکردی معنی‌داری را بر مبنای زمان حل نتیجه داده‌اند. مطالعات اخیر، پیشرفت قابل

91 Mesh

92 Grids

93 Moore: مشاهده‌ای که تعداد ترانزیستورها در هر سطح واحد روی یک

پردازنده هر 18 ماه، با افزایش‌های متناظر در عملکرد عملی برای یک

الگوریتم ثابت، دو برابر می‌شود.

94 Driver

95 Time to Solution

96 Magneto hydrodynamics

97 Radiation Transport

98 Super-Moore's Law

طولانی در ساختارهای سازمانی انعطاف ناپذیر دانشگاه‌های امروز تقسیم‌بندی شده‌اند، نادیده می‌گیرد. ساختار قدیمی سیلومانند<sup>107</sup> مؤسسه‌های آموزشی، یک الزام منسوخ شده است. این ساختار، نوع‌آوری را منع و تبادل بسیار مهم دانش بین رشته‌های اصلی را محدود کرده و مانع تحقیقات بین‌رشته‌ای، مطالعه و تعامل تعیین‌کننده برای پیشرفت‌های عمده می‌شود.

گزارش [4]PITAC موارد زیر را به عنوان یکی از توصیه‌های اصلی خود فهرست می‌کند [4:9]: "دانشگاه‌ها باید به طور معنی‌دار ساختارهای سازمانی خود را برای ارتقاء و تشویق تحقیقات گروهی و مشترک که به علوم چندرشته‌ای جان تازه بخشیده و آن را پیش می‌برد تغییر دهند. دانشگاه‌ها همچنین باید برنامه‌های جدید چندرشته‌ای و سازمان‌هایی که تعلیم و تربیت چندجانبه، منسجم و دقیق را برای جایگاه‌های فزاینده دانشمندان و محققان محاسباتی فراهم می‌کنند، پیاده کنند." گزارش ادامه داده و می‌پرسد: آیا تحقیقات و مطالعات تعلیم و تربیتی در قرن بیست و یکم "بدوی و قرون وسطایی است یا مدرن می‌باشد؟"

اگر شبیه‌سازی قرار است که یک رشته، یک ابزار مهندسی و یک فرصت یادگیری با عمر طولانی باشد، آنگاه سیستم آموزشی مهندسی در سطح دانشگاهی باید بازسازی شود. سیستم فعلی، طیف وسیعی از دانش بین‌رشته‌ای را که مهندسی و متخصصان فردا در عمده‌شان نیاز دارند، فراهم نمی‌کند. برای موفقیت، آنها باید عمق لازم را در ریاضیات محاسباتی و کاربردی و نیز در رشته‌های علوم و مهندسی خاص خود بدست آورند. دانشجویان لیسانس، به علاوه، باید در ساختن اصولی که به آنها امکان تحصیل علمی مانند علم مولکولی و کوانتوم، مکانیک پیوستاری و آماری، علوم بیولوژی و شیمی، ریاضیات محاسباتی و کاربردی، علوم کامپیوتر و محاسبه علمی و تصویرسازی، هندسه و تجسم را به دست دهد، توانمند باشند. شرکت در تیم‌های تحقیقاتی چندرشته‌ای و دوره‌های آنترنی صنعتی<sup>108</sup>، مهارت‌های تجسم فنی و علمی وسیع و نیز مهارت‌های لازم ارتباطات را برای توسعه اثربخش و آماده‌سازی عمده‌شان به دانشجویان ارائه خواهد داد.

ادغام عمده‌شان در سیستم آموزشی، برنامه آموزشی دانشجویان لیسانس را وسعت می‌بخشد. به علاوه، دانشجویان لیسانس، به مواد و موضوعات آموزشی که نظریه‌ها و تجربیات کامل‌کننده رویکردهای نظری و تجربی سنتی را برای به دست آوردن دانش

حاصل عبارت است از جستجوی برآوردها برای آن پارامترهایی که تفاوت‌ها را با مشاهدات به حداقل می‌رساند.

متأسفانه، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی - در شکل طراحی بهینه، کنترل بهینه، یا مسائل معکوس - از شبیه‌سازی متناظر به نحو بارزی پرچالش‌تر است؛ چراکه اول، مسئله بهینه‌سازی، حتی اگر خوش تعریف باشند، بد مدل<sup>99</sup> است.

دوم، بهینه‌سازی معمولاً، علی‌رغم طبیعت تکاملی و تحولی مسئله پیشرو، یک مسئله چهار بعدی مقدار مرزی<sup>100</sup> فضا-زمان<sup>101</sup> را نتیجه می‌دهد. سوم، مسئله بهینه‌سازی اغلب برحسب عبارات احتمالاتی<sup>102</sup> فرموله می‌شود.

چهارم، شبیه‌سازی فقط یک زیرمسئله مرتبط با بهینه‌سازی است، که می‌تواند از نظر محاسباتی خیلی پرچالش باشد. در واقع، هنگامی که مسئله شبیه‌سازی نیاز به منابع نجومی تراکم‌یاس<sup>103</sup> دارد، مسئله بهینه‌سازی در قلمرو پتامقیاس<sup>104</sup> خواهد بود.

روش‌های مدرن بهینه‌سازی برای این وظایف ناکافی هستند؛ چراکه نیاز به رده‌های کاملاً جدید الگوریتم‌های بهینه‌سازی قابل ارتقا، کارا و استوار<sup>105</sup> است که مناسب شبیه‌سازی‌های پیچیده چندمقیاسی و چند فیزیکی است که توسط عمده‌شان پدید آمده‌اند. چالش‌های حاصل دارای بالاترین مرتبه هستند؛ هنوز، آنها باید به انجام تعهدات عمده‌شان که همانا ارتقای تصمیم‌سازی از یک تجربه متکی به مدل‌های ساده درون‌یابی شوند<sup>106</sup> به یک علم دقیق‌تر مبتنی بر شبیه‌سازی پیشگویی‌کننده با کیفیت عالی است، فائق آیند.

### 3- آموزش عمده‌شان برای مهندسی و متخصصین فردا

در جلد دوم گزارش [19]SCaLeS، می‌توان تذکر "بحران انفجار دانش" را یافت. این عبارت به توسعه وحشتناک پایگاه دانش مورد نیاز برای شبیه‌سازی مدرن و پیشرفته اشاره می‌کند. این توسعه، مرزهای سنتی بین رشته‌های دانشگاهی را که مدت

- 99 Ill-Posed
- 100 Boundary-Value
- 101 Time-Space
- 102 Probabilistic
- 103 Terascale
- 104 Petascale
- 105 Robust
- 106 Interpolative

107 Silo Structure

108 Industrial Internships

تعریف شده است، عمده شاخه‌های علوم است که بر روی مدل‌سازی رایانه‌ای و شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و مهندسی شده و در مورد کسب داده‌هایی که استانداردهای تعیین‌شده دقت و قابلیت اطمینان را رعایت می‌کنند، متمرکز می‌شود. عمده‌ش از پیشرفت‌های درک علمی و الحاق آن درک به رویکردهای جدید برای مسایل موجود در حیطه مهندسی از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ای کمک می‌گیرد.

نیاز برای عمده‌ش به عنوان یک زمینه تحقیقاتی جداگانه، به نقطه عطفی در توسعه فن‌سالارانه رسیده است. تقریباً برای مدت نیم‌قرن، توسعه در مدل‌سازی ریاضی، الگوریتم‌های محاسباتی/رایانه‌ای و فناوری محاسبات داده‌های زیاد<sup>109</sup> به بهبودهای قابل ملاحظه‌ای در سلامتی، امنیت، بهره‌وری، کیفیت زندگی و رقابت‌جویی منجر شده است [27]. همان‌طور که در این مقاله شرح داده شده، دنیا در آستانه یک گسترش بزرگ در توانایی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی تقریباً طیف نامحدودی از پدیده‌های طبیعی است. این گسترش دارای معانی ضمنی عظیم و پرمحتوایی است:

**اول**، مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای، اجازه کندوکاو رویدادهای طبیعی و سیستم‌های مهندسی شده که امکان تحلیل طولانی و اندازه‌گیری و روش‌شناسی‌های تجربی را داشته و دارای معیار و منطق‌های تجربی هستند، می‌دهد. درحقیقت، فرض‌های تجربی با مدل‌های محاسباتی/رایانه‌ای مبتنی بر علوم جایگزین خواهند شد.

**دوم**، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، کاربردهایی در فناوری‌ها از ریزپردازنده‌ها<sup>110</sup> تا زیرساخت<sup>111</sup> شهرها خواهند داشت. حداقل این فناوری‌های جدید، سیستم‌های مؤثری برای امنیت ملی خواهند بود. به علاوه، روش‌های جدید شبیه‌سازی، زیربنای کل فناوری‌هایی را که اکنون فقط به عنوان امور محتمل در حال پدید آمدن و شکل‌گیری هستند، خواهند ساخت.

**سوم**، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، ما را در طراحی و ساخت مواد و محصولات بر مبنای یک پایه علمی‌تر با سعی و خطای کمتر و چرخه‌های طراحی کوتاه‌تر قادر می‌سازد.

**چهارم**، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، به طور وسیعی توانایی ما را در پیش‌گویی نتایج و بهینه‌سازی راه‌حل‌ها، قبل از اختصاص منابع در طراحی‌ها و تصمیم‌گیری‌های معین، بهبود خواهد

توضیح می‌دهند، دسترسی خواهند داشت. به علاوه، عمده‌ش یک محیط جدید غنی‌ای را برای تحقیق دانشجویان لیسانس فراهم خواهد آورد، که در آن دانشجویان مهندسی و علوم می‌توانند با هم در تیم‌های بین‌رشته‌ای کار کنند.

مانند هر فرهنگ مستحکم شده، به دست آوردن تغییر مشکل است. برای تغییر فرهنگ رشته‌های مجزا، دانشگاه‌ها، به ابتکار عمل‌های خوب مدیریت شده، پایدار و مداوم نیاز خواهند داشت. NSF قبلاً برای تشویق تحقیقات بین‌رشته‌ای و تعلیم و تربیت از طریق نوع‌آوری‌هایی مانند ITR و IGERT مشغول بوده است و DOE دارای برنامه بسیار موفق SciDAC است. برای تبدیل برنامه‌های موفقیت‌آمیز میان‌رُ به ساختارهای اداری دائمی (و میان‌رُ)، مادامی که بخش‌های وابسته به رشته‌ها، دائمی هستند، باید توجه و عنایت جدی شود.

ایجاد تغییرات لازم در ساختار تعلیم و تربیت بدون مدیریت‌های قوی از جانب رهبران دانشگاه، صنعت و آزمایشگاه‌های دولتی امکان‌پذیر نیست. البته تغییرات مورد نیاز و چگونگی بهترین روش پیاده‌سازی آنها موضوعاتی فراتر از چشم‌انداز این مقاله هستند. برای ترسیم چارچوب تعلیم و تربیتی جدید برای مطالعه و تحقیق اثربخش بین‌رشته‌ای، نیاز به یک کمیته با سرمایه‌گذاری تحقیقات ملی است.

یک امکان می‌تواند معرفی جوایز و کمک هزینه‌هایی در زمینه‌های تحقیقاتی چندرشته‌ای باشد. یک پایگاه اصلی سرمایه‌گذاری برای فراهم کردن امکان رونق یافتن تحقیقات و تعلیم و تربیت چندرشته‌ای مورد نیاز است. بهترین تجربیات در تعلیم و تربیت چندرشته‌ای باید شناسایی و سپس مورد تشویق و حمایت قرار گیرد. برنامه‌های NSF مانند IGERT یا برنامه بورس تحقیقاتی کارشناسی علوم محاسباتی DOE، سرمایه‌گذاری و راهنمایی و هدایت خیلی ضروری را برای تعلیم و تربیت لیسانس چندرشته‌ای فراهم کرده است ولی آنها تنها دارای منابعی برای سرمایه‌گذاری خیلی محدود در یک زمینه مفروض هستند. در صورت اضطرار، سرمایه‌گذاری بیشتری برای برنامه‌های تعلیم و تربیت لیسانس چندرشته‌ای مورد نیاز است که به دانشجویان یک رویکرد یکپارچه از تحقیق تیمی و توسعه حرفه‌ای را عرضه کند.

#### 4- نتیجه‌گیری

در این مقاله، سعی شده تا خواننده در جریان آخرین وضعیت نگرش جهانی در خصوص موضوع علوم مهندسی مبتنی بر شبیه‌سازی، یا عمده‌ش قرار گیرد. همان‌طور که در این مقاله

109 Data-Intensive Computing

110 Microprocessors

111 Infrastructure

آوردن مهارت‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی [27].

تاریخ دریافت: 90/10/3 و تاریخ پذیرش: 91/10/20

بخشید.

**پنجم،** مدل‌سازی و شبیه‌سازی، توانایی ما را در حل مسایلی که به روش‌های سنتی بسیار پیچیده بوده‌اند، از جمله مسایلی که شامل مقیاس‌های چندگانه طول و زمان، فرآیندهای فیزیکی چندگانه و سطوح ناشناخته عدم اطمینان‌ها هستند، گسترش می‌دهد.

**ششم،** مدل‌سازی و شبیه‌سازی، ابزارها و روش‌هایی را معرفی می‌نماید که در تمام رشته‌های مهندسی مانند برق، کامپیوتر، مکانیک، عمران، شیمی، هوافضا، هسته‌ای، زیست پزشکی و علوم مواد کاربرد دارد. برای مثال، همه رشته‌های مهندسی از پیشرفت در بهینه‌سازی، کنترل، تعیین عدم اطمینان، صحت‌گذاری و معتبرسازی، طراحی تصمیم‌سازی و پاسخ زمان حقیقی<sup>112</sup> سود می‌برند.

تعجبی ندارد که مطالعات مستقل در آینده فناوری ملتها و در نتیجه‌گیری‌ها متفق‌القول باشند که مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای، عناصر کلیدی برای رسیدن به پیشرفت در مهندسی و علوم است. برای مثال، باید روش‌هایی را برای ارتباط دادن پدیده‌ها در سیستم‌ها پیدا کرد که طیف‌های بزرگی از مقیاس‌های زمانی و مکانی را در برگیرند. همچنین باید قادر به توضیح رویدادهای ماکروسکوپی برحسب رفتارهای زیرمقیاس<sup>113</sup> باشیم. ما به روش‌های بهتر بهینه‌سازی برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده که بتوانند عدم اطمینان‌ها را توضیح دهند نیازمندیم. همچنین، نیاز داریم چارچوب‌هایی را برای معتبرسازی، صحت‌گذاری و تعیین عدم اطمینان بسازیم و بالاخره، به روش‌هایی برای تولید سریع مدل‌های با کیفیت بالای دارای هندسه و ویژگی‌های پیچیده مواد نیاز داریم.

میزگرد نشان برتری که در مقدمه مقاله مورد اشاره قرار گرفت، برای حل مشکلات چهار راه ذیل را توصیه نموده است:

(1) تغییر ساختارهای سازمانی در جهت تسهیل سرمایه‌گذاری مرکزی وسیع در عم‌ش؛

(2) افزایش چندبرابری بودجه برای رشته‌های مرتبط با عم‌ش؛

(3) برنامه درازمدت تحقیقاتی با ریسک بالا برای بهره‌برداری از آینده درخشان قابل ملاحظه؛

(4) حمایت از کوشش برای بررسی امکان آغاز یک تجدیدنظر و تکمیل فراگیر سیستم آموزشی مهندسی برای انعکاس طبیعت بین‌رشته‌ای مهندسی مدرن و کمک به دانشجویان برای بدست

112 Real-Time Response

113 Subscale

- [1] Atkins, D. (Chair); *"Revolutionizing Science and Engineering Through Cyber infrastructure"*, National Science Foundation Blue Ribbon Panel Report, January 2003.  
[http://www.communitytechnology.org/nsf\\_ci\\_report/ExecSum.pdf](http://www.communitytechnology.org/nsf_ci_report/ExecSum.pdf),  
[http://www.communitytechnology.org/nsf\\_ci\\_report/report.pdf](http://www.communitytechnology.org/nsf_ci_report/report.pdf),  
[http://www.communitytechnology.org/nsf\\_ci\\_report/appendices.pdf](http://www.communitytechnology.org/nsf_ci_report/appendices.pdf)
- [2] Bajaj, C.; *Input from the NSF Workshop on Simulation Based Engineering Science*, Arlington, VA, September 2005.
- [3] Belytschko, T.; Fish, J.; Hughes, T.J.R.; Oden, J.T. (Eds.); *Simulation Based Engineering Science*, National Science Foundation Workshop Report, May 2004.  
[http://www.ices.utexas.edu/~bass/outgoing/sbes/SBES\\_Workshop\\_1\\_Report.pdf](http://www.ices.utexas.edu/~bass/outgoing/sbes/SBES_Workshop_1_Report.pdf)
- [4] Benioff, M.; Lazowska, E. (Chairs); *Computational Science: Ensuring America's Competitiveness*, President's Information Technology Advisory Committee (PITAC) Report, June 2005, <http://www.nitrd.gov>.
- [5] Chong, K. P.; *"Nanoscience and Engineering in Mechanics and Materials"*, Journal of Physics & Chemistry of Solids, vol. 65, pp. 1501-1506, 2004.
- [6] Colvin, G.; *"America Isn't Ready"*, Fortune Magazine, July 25, 2005.
- [7] Darema, F.; *"Engineering/Scientific and Commercial applications: differences, similarities, and future evolution"*; HERMIS (Proceedings of the Second Hellenic European Conference on Mathematics and Informatics), Vol. 1, 1994, pp. 367-374, 1994.
- [8] Dolbow, J.; Khalell, M.A.; Mitchell, J. (Eds.); *"Multiscale Mathematics Initiative: A Roadmap"*, Department of Energy – Office of Science Roadmap, December 2004.  
[http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/amr/Multiscale Math Workshop 3 - Report latest edition.pdf](http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/amr/Multiscale_Math_Workshop_3_Report_latest_edition.pdf).
- [9] Douglas, C.; Deshmukh, A. (Eds.); *Dynamic Data Driven Application Systems*, NSF Workshop Report, March 2000,  
<http://www.cise.nsf.gov/dddas>.
- [10] Estep, D.; Shadid, J.; Simon, T. (Eds.); *Final Report Second DOE Workshop on Multiscale Problems*, Department of Energy – Office of Science Workshop Report, October 2004.  
[http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/amr/Multiscale Math Workshop 2 version - Report.pdf](http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/amr/Multiscale_Math_Workshop_2_version_Report.pdf)
- [11] Gereffi, G.; Wadhwa, V. (Eds.); *Framing the Engineering Outsourcing Debate: Placing the United States on a Level Playing Field with China and India*, Master of Engineering Management Program, Duke University, December 2005.
- [12] Graham, S.; Snir, M. (Eds.); *The Future of Supercomputing*, National Research Council – Computer Science and Telecommunications Board Interim Report, May 2003.  
[http://www7.nationalacademies.org/cstb/pub\\_supercomp.html](http://www7.nationalacademies.org/cstb/pub_supercomp.html).
- [13] Grosh, J.; Laub, A. (Eds.); *Federal Plan for High-End Computing*, High-End Computing Revitalization Task Force Report, Office of Science and Technology Policy, May 2004.  
<http://www.sc.doe.gov/ascr/hecrtrfpt.pdf>.
- [14] Joy, W.; Kennedy, K.; (Chairs); *Information Technology Research: Investing in Our Future*; Presidents Information Technology Advisory Committee Report, February 1999.  
[http://www.itrd.gov/pitac/report/pitac\\_report.pdf](http://www.itrd.gov/pitac/report/pitac_report.pdf)
- [15] Johnson, C.; Moorhead, R.; Munzner, T.; Pfister, H.; Rheingans, P.; Yoo, T. S. (Eds.); *NIH-NSF Visualization Research Challenges Report*; IEEE Press, ISBN 0-7695-2733-7, 2006.  
<http://tab.computer.org/vgtc/vrc/index.html>
- [16] Johnson, C.R.; *"Top Scientific Visualization Research Problems"*, IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 2-6, July/August 2004.
- [17] Kamath. C.; *Input from the NSF Workshop on Simulation Based Engineering Science*, Arlington, VA, September 2005.
- [18] Keyes, D.; Colella, P.; Dunning Jr. T.; Gropp, W. (Eds.); *A Science-Based Case for Large-Scale Simulation - Volume 1*, Department of Energy – Office of Science Workshop Report, July 2003.  
<http://www.pnl.gov/scales/>
- [19] Keyes, D.; Colella, P.; Dunning, Jr. T.; Gropp, W. (Eds.); *A Science-Based Case for Large-Scale Simulation - Volume 2*, Department of Energy – Office of Science Workshop Report, September 2004.  
<http://www.pnl.gov/scales/>
- [20] Lax, Peter D. (Chair); *Report of the Panel on Large Scale Computing in Science and Engineering*, Department of Defense and the National Science Foundation, December 1982.  
[http://www.pnl.gov/scales/docs/lax\\_report\\_1982.pdf](http://www.pnl.gov/scales/docs/lax_report_1982.pdf).
- [21] National Science Foundation, Division of Science Resources Statistics; *Science and Engineering Degrees:*

- 1966-2001; NSF 04-31, Project Officers, Susan T. Hill and Jean M. Johnson.  
<http://www.nsf.gov/statistics/nsf04311/htmstart.htm>.
- [22] New York University School of Medicine, <http://endeavor.med.nyu.edu/public/>.
- [23] Petzold, L.; Colella, P.; Hou, T. (Eds.); *Report of the First Multiscale Mathematics Workshop: First Steps toward a Roadmap*, Department of Energy – Office of Science Workshop Report, July 2004.  
[http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/amr/Multiscale Math Workshop 1 - Report.pdf](http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/amr/Multiscale%20Math%20Workshop%201%20-%20Report.pdf).
- [24] Reed, D. (Ed.); *The Roadmap for the Revitalization of High-End Computing*, National Coordination Office for Information Technology Research and Development Report, June 2003.  
<http://www.cra.org/reports/supercomputing.pdf>.
- [25] *Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future*, Committee on Prospering in the Global Economy of the 21st Century, 2005.  
<http://www.nap.edu/catalog/11463.html>
- [26] *Scientific Discovery through Advanced Computing*; Department of Energy - Office of Science Strategic report, March 2000.  
[http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/scidac/SciDAC\\_strategy.pdf](http://www.sc.doe.gov/ascr/mics/scidac/SciDAC_strategy.pdf)
- [27] Oden, T.; Belytschko; Fish, T. J.; Hughes, T.J.R.; Johnson, C.; Keyes, D.; *A Report of the National Science Foundation Blue Ribbon Panel on Simulation-Based Engineering Science*, ICES Technical Report, University of Texas, February, 2006.
- [28] Zhang Y.; Bajaj C.; *Finite Element Meshing for Cardiac Analysis*, ICES Technical Report 04-26, University of Texas, Austin, 2004.