

به نام خدا

## مراحل مختلف شبیه سازی ریاضی سیستم‌های طبیعی و مصنوعی

دکتر محمد جواد عابدینی

استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه شیراز

در طول ۲۳ سال گذشته، نه درس در مقطع کارشناسی ارشد و چهار درس در مقطع دکترا به شرح ذیل به کرات تدریس کرده‌ام:

### دروس کارشناسی ارشد :

- ✓ ریاضیات عالی مهندسی (۱)
- ✓ روش عناصر محدود
- ✓ هیدرولوژی پیشرفته (۱)
- ✓ هیدرولیک پیشرفته (۱)
- ✓ بهینه یابی
- ✓ تئوری تقریب
- ✓ سیستم‌های انتقال و توزیع آب
- ✓ طراحی هیدرولیکی و هیدرولیکی سدهای خاکی و بتونی
- ✓ روش‌های عددی در مهندسی منابع آب (۱)

### دروس مقطع دکترا:

- ✓ ریاضیات عالی مهندسی (۲)
- ✓ هیدرولوژی پیشرفته (۲)
- ✓ هیدرولیک پیشرفته (۲)
- ✓ روش‌های عددی در مهندسی منابع آب (۲)

فلوچارتی که در ذیل به مشارکت گذاشته می‌شود در کلیه دروس تحصیلات تکمیلی (جمعا ۱۳ درس)، مشترک بوده است. در ترم‌های معمولی (فاقد کرونا)، فلوچارت مزبور در ابتدای ترم میان دانشجویان توزیع و حدود حداکثر یک ساعت بر روی آن وقت صرف می‌شده است. خوشبختانه در ایام کرونا، با حضور در کلاس فیزیکی، مولفه‌های مختلف فلوچارت در هشت جلسه دوساعته با بهره‌گیری از «روش توانمند آموزش مبتنی بر حل مسئله» پوشش داده شده است .

✓ در مقام تدریس، از ایده دانشمند زمین آمار فرانسوی، G. De Marsily استفاده شده است. ایشان در جلسه دفاع از رساله دکترای خود، لیوانی حاوی ماسه را به جلسه دفاع برده و ...

He brought a jar of sand into the dissertation defence room and then as soon as he started to defend his dissertation, he shook the jar of sand and argue this is a typical realization of a porous media. He shook the jar of sand for the second time and said this is another realization of the porous media. Indeed, I found \*learning by doing\* to be the most effective way to teach in academic settings.

از این ایده استفاده کرده و با بردن ظرف آب معدنی حاوی یک سیال، در هشت جلسه دوساعته پیرامون سؤال زیر به تدریس پرداخته ام.

### سوال کلیدی:

«چنانچه در دیواره یا کف ظرف آب معدنی، سوراخی تعبیه کنیم، در چه مدت زمانی سیال از داخل ظرف تخلیه می شود؟»

از نکات کلیدی پوشش داده شده در جلسات مزبور، چگونگی تبیین هدف، تبدیل هدف به مدل مفهومی، چگونگی تبدیل مدل مفهومی به مدل ریاضی، حل مدل ریاضی و تبدیل حل به کد کامپیوتری، راستی آزمائی کد کامپیوتری، ساختن مدل، واسنجی مدل، راستی آزمائی مدل در شرایط بهره‌برداری و ... قابل ذکر است .

در یادداشت ذیل، فلوچارت، توضیحات تکمیلی هر جلسه، به انضمام لینک آپارات فایل صوتی-تصویری نشست به مشارکت گذاشته شده است.

### «مراحل مختلف شبیه سازی ریاضی سیستم های طبیعی و مصنوعی»

**مقدمه:** در شبیه سازی سیستم های طبیعی و مصنوعی، چنانچه فرایند شبیه سازی به اصول و قواعدی مزین گردد، نتایج حاصل از شبیه سازی، قابل تسری به مسائل واقعی فراهم خواهد گردید.  
تا کنون در هشت جلسه دو ساعته به معرفی مراحل مختلف شبیه سازی سیستم های طبیعی و مصنوعی بر اساس فلوچارت ضمیمه و بهره گیری از روش قدرتمند آموزش مبتنی بر حل مسئله (Problem-based learning) پرداخته شده است. در بخش های بعدی، به تفکیک مفاهیم و مباحث مطروحه در جلسات مزبور تشریح گردیده است.

### ✓ جلسه نخست

در جلسه اول چگونگی تبیین هدف با طرح مسئله یا سوال مشخص، تبدیل هدف به مدل مفهومی، استخراج و تعریف فرضیه‌هایی در قالب جملات خبری یا استفهامی و در نهایت تبدیل مدل مفهومی به مدل ریاضی، مورد توجه قرار گرفته و مباحث تشریح گردیده است.

چگونگی شکار سوال فاقد پاسخ و ضرورت طراحی آزمایشاتی متناسب با فرضیات احصاء شده به منظور رد یا پذیرش فرضیه نیز پوشش داده خواهد شد.

فایل صوتی-تصویری جلسه مزبور در [اینجا](#) قابل استماع خواهد بود .

## ✓ جلسه دوم

در جلسه دوم مراحل مختلف شبیه سازی ریاضی سیستم های طبیعی و مصنوعی- راست آزمائی مستقل برنامه کامپیوتری تهیه شده مورد تأکید مضاعف قرار گرفته است .

در جلسه دوم به تفصیل پیرامون چگونگی حل سیستم معادلات حاکمه، تبدیل الگوریتم حل به برنامه کامپیوتری و یا استفاده از نرم افزار موجود ورود گردیده و در نهایت راست آزمایی مستقل کد برنامه کامپیوتری تهیه شده و یا موجود مورد تأکید مضاعف قرار گرفته است.

در این جلسه، میان راستی آزمائی مستقل کد کامپیوتری (Code verification) و راستی آزمائی برنامه در مرحله متعاقب واسنجی مدل (Model validation) تمایز معنی داری مورد توجه قرار گرفته و محتوای این نشست به Code verification پرداخته است .

فایل صوتی-تصویری جلسه مزبور در [اینجا](#) قابل استماع خواهد بود.

## ✓ جلسه سوم

در جلسه سوم مجدداً ضمن تشریح مراحل تبیین هدف، تبدیل هدف به مدل مفهومی، استخراج، تعریف و بیان تعدادی فرضیه در قالب جملات خبری یا استفهامی، تأکید بر ماهیت رفت و برگشتی فلوجارت، راستی آزمائی مستقل نرم افزار کامپیوتری آماده شده در مقیاس ماشین حساب، برنامه اکسل و ... با زبانی متفاوت پرداخته شده و به گونه ای مختصر به مرحله ساخت مدل و واسنجی آن پرداخته شده است.

فایل صوتی-تصویری جلسه مزبور در [اینجا](#) قابل استماع خواهد بود.

## ✓ جلسه چهارم

در جلسه چهارم، ابتدا با معرفی صورت مسئله در قالب داده ها و خواسته ها برای گزینه ای که طرف مورد نظر به مخزن انباشت آب در پشت سد تشبیه گردیده و در بدنه سد امکان تخلیه آب از لوله آبگیر در یک تراز و سرریز اوجی شکل در تراز دیگر فراهم گردیده، به معرفی سه نوع مسئله در دامنه مکانیک محیط های پیوسته شامل مسائل پیشگوئی (Prediction Problems) ، مسائل واسنجی (System Identification or Calibration) و مسائل طراحی آزمایش (Design of experiment problem) پرداخته و در هر مورد تمایز میان داده ها و خواسته ها تبیین گردیده است. تمرکز این فیلم صوتی-تصویری ناظر بر \*ساخت مدل\* مشتمل بر واسنجی و سپس راست آزمائی مدل متمرکز گردیده است. در مرحله واسنجی، برای گزینه ای که سیستم تبدیل ورودی به خروجی به گونه ای جبری، غیر خطی و صریح داده شده، محاسبات بهینه یابی انجام گردیده است.

فایل صوتی-تصویری جلسه مزبور در [اینجا](#) قابل استماع خواهد بود .

## ✓ جلسه پنجم:

در این جلسه که در واقع پنجمین جلسه پیرامون تبیین مراحل مختلف شبیه سازی ریاضی یک سیستم طبیعی یا مصنوعی می باشد، منحصرأ پیرامون واسنجی سیستم هیدرولیکی--هیدرولوژیکی تخلیه آب از یک ظرف مباحثی مطرح گردیده است. میان گزینه بیان متغیر وابسته بر حسب متغیر مستقل به گونه ای صریح و یا به گونه ای ضمنی تمایز قائل شده و مسئله برای گزینه بیان صریح  $H(t)$  بر حسب  $t$  تا به آخر مسئله واسنجی تعقیب گردیده است.

فایل صوتی-تصویری جلسه مزبور در [اینجا](#) قابل استماع خواهد بود.

انشاءالله در جلسه ششم، همین مسئله برای گزینه ای که امکان بیان صریح  $H(t)$  بر حسب  $t$  میسر نباشد و یا ارتباط میان متغیرهای وابسته و مستقل از نوع دیفرانسیلی باشد، واسنجی مدل دنبال خواهد گردید.

#### ✓ جلسه ششم:

این جلسه در واقع ششمین جلسه پیرامون تبیین مراحل مختلف شبیه سازی ریاضی یک سیستم طبیعی یا مصنوعی می باشد. در این جلسه مجدداً ضمن تمایز میان سه نوع مسئله به شرح ذیل:

- Prediction Problems,
- System Identification or Calibration Problems,
- Design of Experiment Problems,

ادعا شده است که تقریباً کلیه سیستم های طبیعی و مصنوعی قابلیت احصاء در چارچوب سه نوع مسئله فوق را خواهند داشت. مجدداً ضمن برقراری ارتباط میان گزینه بیان متغیر وابسته بر حسب متغیر مستقل به گونه ای صریح و یا به گونه ای ضمنی و ارتباط آن با تخلیه سیال از یک ظرف، فرموله کردن فرایند واسنجی مدل ریاضی مورد توجه قرار گرفته است. امکان استماع فایل صوتی-تصویری جلسه ششم از [اینجا](#) میسر است.

#### ✓ جلسه هفتم:

در بخش هفتم از مجموعه مراحل مختلف شبیه سازی و تهیه مدل ریاضی سیستم های طبیعی و مصنوعی، در این نشست، مجدداً با آوردن مثال هایی از دروس هیدرولوژی، هیدرولیک و مهندسی آب و فاضلاب به ضرورت تمایز میان مسائل سه گانه زیر پرداخته شد:

• مسائل مشخص نمودن سیستم یا واسنجی مدل (System Identification and/or Calibration)

• مسائل پیش بینی (System Prediction Problems)

• مسائل طراحی آزمایش (Design of Experiment Problem)

و اینکه هر مسئله ای ابتدا باید در قالب دانسته های مسئله و خواسته ها، بتفکیک صورت بندی و تبیین گردد. در ادامه با اشاره ای به مباحث گذشته، به گونه ای تفصیلی به فرایند واسنجی مدل در شرائطی که رابطه میان دانسته ها و خواسته ها از نوع معادله دیفرانسیل مرتبه اول خطی یا غیر خطی، همگن یا غیر همگن می باشد، پرداخته شده است. متعاقب تکمیل این بخش به فرایند راستی آزمائی مستقل مدل واسنجی شده ورود گردیده است. امکان استماع فایل صوتی-تصویری جلسه هفتم از [اینجا](#) میسر است.

#### ✓ جلسه هشتم:

در بخش هشتم از این مجموعه به دامنه کاربرد مدلی که ابتدا برای شرائط خاص واسنجی گردیده و سپس راستی آزمائی مستقل گردیده، پرداخته شده است. مصادیق کارکرد مدل عبارت است از:

- Application in predictive mode;
- Application in investigative mode
- Application in evaluative mode

متعاقب فرایند شبیه‌سازی و پیاده‌سازی مدل، به یکی از فرایندهای مغفول مانده مدل‌سازی یعنی فرایند ممیزی یا همان Post Audit پرداخته شده است .

امکان استماع فایل صوتی-تصویری جلسه هشتم از [اینجا](#) میسر است.

# Mathematical Modeling

