

معادلات دیفرانسیل، دستگاه‌های دینامیکی و مقدمه‌ای بر آشوب

تالیف

موریس دبلیو هرش، استفن اسمیل، رابرت ال دیوینی

مترجم

حمید رضا ظهوری زنگنه

دانشیار دانشکده علوم ریاضی

دانشگاه صنعتی اصفهان



دانشگاه صنعتی اصفهان
مرکز نشر

گروه علوم ۲۳

شماره کتاب ۱۱۹

معادلات دیفرانسیل، دستگاه های دینامیکی و مقدمه ای بر آشوب

تألیف : موریس دبلیو هرش، استفن اسمیل و رابرت ال دیوینی
ترجمه : دکتر حمیدرضا ظهوری زنگنه
ویراستار : دکتر حمیدرضا رئوفی
حروف چینی و صفحه آرایی : حمیدرضا رزاقیان
طراح جلد : سمیه رضویان
مدیر تولید : دکتر حمیدرضا کوشش
ناشر : مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
لیتوگرافی، چاپ و صحافی : چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ اول : پاییز ۱۳۹۱
شمارگان : ۵۰۰ جلد
شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۷۸-۱
قیمت : ۱۲۹۰۰ تومان

سرشناسه	: هرش، موریس دبلیو، ۱۹۳۳-م. Hirsch, Morris W.
عنوان و نام پدیدآور	: معادلات دیفرانسیل، دستگاه های دینامیکی و مقدمه ای بر آشوب/ تألیف موریس دبلیو هرش، استفن اسمیل، رابرت ال. دیوینی؛ مترجم حمیدرضا ظهوری زنگنه.
مشخصات نشر	: اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: دوازده، ۴۰۷ص.؛ مصور، جلدی، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۷۸-۱
یادداشت	: عنوان اصلی: Differential equations, dynamical systems, and an introduction to chaos.C,2004
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: معادله های دیفرانسیل
موضوع	: جبر خطی
موضوع	: رفتار آشوبناک در سیستم ها
شناسه افزوده	: اسمیل، استفن، ۱۹۳۰-م.
شناسه افزوده	: Smale, Stephen
شناسه افزوده	: دیوینی، رابرت ال، ۱۹۴۸-م.
شناسه افزوده	: Devaney, Robert L
شناسه افزوده	: ظهوری زنگنه، حمیدرضا، ۱۳۳۷-، مترجم
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی اصفهان. مرکز نشر
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱م ۴/۸۴۷۶-۷۸-۱
رده بندی دیویی	: ۵۱۵/۳۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۷۷۴۵۸

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کدپستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

تلفن: ۰۳۱۱-۳۹۱۲۵۰۹ دورنگار: ۰۳۱۱-۳۹۱۲۵۵۲

فهرست مطالب

۱	فصل ۱ معادلات مرتبه اول
۱-۱	ساده‌ترین مثال
۲-۱	مدل جمعیت لجستیک
۳-۱	برداشت ثابت و انشعابات
۴-۱	برداشت تناوبی و جواب‌های تناوبی
۵-۱	محاسبه نگاشت پوانکاره
۶-۱	کاوش: یک خانواده دو پارامتری
۱۹	فصل ۲ دستگاه‌های خطی مسطح
۱-۲	معادلات دیفرانسیل مرتبه دوم
۲-۲	دستگاه‌های مسطح
۳-۲	پیش‌نیازها از جبر
۴-۲	مقادیر ویژه و بردارهای ویژه
۵-۲	حل دستگاه‌های خطی
۶-۲	اصل خطی بودن
۳۵	فصل ۳ نماهای فاز دستگاه‌های مسطح
۱-۳	مقادیر ویژه حقیقی و متمایز
۲-۳	مقادیر ویژه مختلط
۳-۳	مقادیر ویژه تکراری

۴-۳ تغییر مختصات ۴۴

فصل ۴ دسته‌بندی دستگاه‌های سطح ۵۵

۱-۴ صفحه اثر - دترمینان ۵۵

۲-۴ دسته‌بندی دینامیکی ۵۸

۳-۴ کاوش: یک فضای پارامتری ۳ بعدی ۶۴

فصل ۵ جبر خطی از ابعاد بالاتر ۶۷

۱-۵ پیش‌نیازها از جبر خطی ۶۷

۲-۵ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ۷۵

۳-۵ مقادیر ویژه مختلط ۷۸

۴-۵ پایه‌ها و زیرفضاها ۸۱

۵-۵ مقادیر ویژه تکراری ۸۵

۶-۵ عام بودن ۹۱

فصل ۶ دستگاه‌های خطی مرتبه بالاتر ۹۹

۱-۶ مقادیر ویژه متمایز ۹۹

۲-۶ نوسانگرهای همساز ۱۰۴

۳-۶ مقادیر ویژه تکراری ۱۱۰

۴-۶ نمای یک ماتریس ۱۱۳

۵-۶ دستگاه‌های خطی غیرخودگردان ۱۲۰

فصل ۷ دستگاه‌های غیر خطی ۱۲۹

۱-۷ دستگاه‌های دینامیکی ۱۳۰

۲-۷ قضیه وجود و یکتایی ۱۳۲

۳-۷ وابستگی پیوسته جواب‌ها ۱۳۶

۴-۷ معادله وردشی ۱۳۸

۵-۷ کاوش: روش‌های عددی ۱۴۲

- ۱-۸ چند مثال روشنگر ۱۴۷
- ۲-۸ نقاط چاه و منبع غیرخطی ۱۵۲
- ۳-۸ نقاط زینی ۱۵۵
- ۴-۸ پایداری ۱۶۱
- ۵-۸ انشعابات ۱۶۲
- ۶-۸ کاوش: میدان‌های برداری مختلط ۱۶۷

- ۱-۹ هم‌شیب‌های صاف ۱۷۳
- ۲-۹ پایداری نقاط تعادل ۱۷۷
- ۳-۹ دستگاه‌های گرایانی ۱۸۶
- ۴-۹ دستگاه‌های همیلتونی ۱۹۰
- ۵-۹ کاوش: نوسانگر با نیروی وارده ثابت ۱۹۲

- ۱-۱۰ مجموعه‌های حدی ۱۹۷
- ۲-۱۰ برش‌های موضعی و جریان جعبه‌ها ۲۰۰
- ۳-۱۰ نگاشت پوانکاره ۲۰۲
- ۴-۱۰ دنباله‌های یکنوا در دستگاه‌های دینامیکی مسطح ۲۰۴
- ۵-۱۰ قضیه پوانکاره بندیکسون ۲۰۶
- ۶-۱۰ کاربردهای پوانکاره - بندیکسون ۲۰۸
- ۷-۱۰ کاوش: واکنش‌های شیمیایی که نوسان می‌کنند ۲۱۱

- ۱-۱۱ بیماری‌های واگیردار ۲۱۷
- ۲-۱۱ دستگاه‌های شکار و شکارچی ۲۲۱
- ۳-۱۱ موجودات رقیب ۲۲۷
- ۴-۱۱ کاوش: رقابت و صید ۲۳۲

۲۳۷	۱-۱۲ یک مدار RLC
۲۴۰	۲-۱۲ معادله لیینارد
۲۴۱	۳-۱۲ معادله واندرپیل
۲۴۸	۴-۱۲ یک انشعاب هاپف
۲۴۹	۵-۱۲ کاوش: دینامیک عصب

۲۵۵	۱-۱۳ قانون دوم نیوتن
۲۵۷	۲-۱۳ دستگاه‌های پایسته
۲۵۹	۳-۱۳ میدان‌های نیروی مرکزی
۲۶۲	۴-۱۳ دستگاه‌های نیروی مرکزی
۲۶۶	۵-۱۳ قانون اول کپلر
۲۶۹	۶-۱۳ مسأله دو جسم
۲۷۰	۷-۱۳ بزرگ‌نمایی تکنیکی‌ها
۲۷۳	۸-۱۳ کاوش: دیگر مسائل نیروی مرکزی
۲۷۴	۹-۱۳ کاوش: حدهای کلاسیک از دستگاه‌های مکانیک کوانتوم

۲۷۸	۱-۱۴ مقدمه‌ای بر دستگاه لورنز
۲۷۹	۲-۱۴ خواص مقدماتی دستگاه لورنز
۲۸۳	۳-۱۴ رباینده لورنز
۲۸۶	۴-۱۴ مدلی برای رباینده لورنز
۲۹۲	۵-۱۴ رباینده آشوبناک
۲۹۷	۶-۱۴ کاوش: رباینده راسلر

۳۰۱	۱-۱۵ مقدمه‌ای بر دستگاه‌های دینامیکی گسسته
۳۰۵	۲-۱۵ انشعابات

۳۰۸	۳-۱۵ مدل لجستیک گسته
۳۱۰	۴-۱۵ آشوب
۳۱۴	۵-۱۵ دینامیک‌های نمادین
۳۱۹	۶-۱۵ نگاشت انتقال
۳۲۱	۷-۱۵ مجموعه یک سوم میانی کانتور
۳۲۴	۸-۱۵ کاوش: آشوب مرتبه سوم
۳۲۵	۹-۱۵ کاوش: دیاگرام مداری

فصل ۱۶ بدیده هموکلینیک ۳۳۱

۳۳۱	۱-۱۶ دستگاه شلنکف
۳۳۷	۲-۱۶ نگاشت نعل اسبی
۳۴۳	۳-۱۶ رباینده پیچش دوگانه
۳۴۵	۴-۱۶ انشعابات هموکلینیک
۳۴۹	۵-۱۶ کاوش: مدار چوا

فصل ۱۷ نگاه مجدد به قضایای وجود و یکتایی ۳۵۳

۳۵۳	۱-۱۷ قضیه وجود و یکتایی
۳۵۴	۲-۱۷ اثبات وجود و یکتایی
۳۶۱	۳-۱۷ وابستگی پیوسته به شرایط اولیه
۳۶۴	۴-۱۷ ادامه جواب‌ها
۳۶۷	۵-۱۷ دستگاه‌های غیرخودگردان
۳۷۰	۶-۱۷ مشتق‌پذیری جریان

مراجع ۳۷۷

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۳۸۱

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۳۹۱

نمایه ۴۰۱

پیش‌گفتار

کتاب حاضر نوشته سه تن از برجسته‌ترین ریاضیدانان دستگاه‌های دینامیکی است که نوشته‌های تحقیقاتی آنها باعث بشرفت‌های زیادی در دستگاه‌های دینامیکی و به‌ویژه نظریه ی آشوب بوده است. ویرایش اول کتاب نوشته دو مؤلف اول کتاب تا سال‌ها به‌عنوان یکی از مراجع اصلی در درس دستگاه‌های دینامیکی در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مورد استفاده قرار گرفته است. اما همان‌گونه که مؤلفین کتاب در مقدمه‌ی خود ذکر کرده‌اند، این ویرایش پس از سی سال از چاپ ویرایش اول حاوی تغییرات بسیار وسیع و ساختاری نسبت به ویرایش قبلی است. این ویرایش با هدف استفاده به‌عنوان مرجع درسی در یک «درس دوم» در معادلات دیفرانسیل نگارش شده است. مخاطبین این کتاب نه تنها دانشجویان ریاضی بلکه دانشجویان علوم و مهندسی هستند که با مدل‌های معادلات دیفرانسیل در کاربردهای رشته خود روبه‌رو می‌شوند و علاقه‌مند به تحلیل این معادلات هستند. به این منظور مطالب ریاضی پیش نیاز برای این دسته از دانشجویان در خود کتاب آمده است. با توجه به اهمیت موضوع، این کتاب بترتیب در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ میلادی به زبان‌های ژاپنی و چینی ترجمه شده است. با توجه به الزامی شدن درس نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل عادی و مبانی سیستم‌های دینامیکی در برنامه جدید مصوب دوره کارشناسی رشته «ریاضیات و کاربردها»، این کتاب می‌تواند به‌عنوان یکی از مراجع اصلی این دو درس مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این فصول اولیه کتاب می‌تواند به‌عنوان مرجع کمک درسی در درس معادلات دیفرانسیل مقدماتی و جبرماتریس‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این کتاب ابتدا با پردازنده ورد (Word) تایپ و آماده شد، ولی به علت تغییر سیاست‌های مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان مجدداً با پردازنده زی پرشین (XePersian) تایپ گردید. در تایپ، صفحه‌آرایی و آماده سازی کتاب افراد بسیاری دخیل بوده اند که در اینجا بدینوسیله از زحمات همگی آنها بویژه از زحمات آقایان مهندس علیرضا ظهوری زنگنه و حمید رضا رزاقیان و خانمها نسرین صدری و مرجان امینی تشکر می‌کنم. همین طور در اینجا بویژه از همکار گرامی جناب آقای دکتر

رامین جوادی تشکر می‌کنم که قالب تک کتاب را تهیه نمود و در تمام مراحل تایپ و صفحه‌آرایی کتاب با راهنمایی‌های بی‌دریغ خود مشکلات پیش آمده را با سعه صدر و صرف وقت زیاد برطرف نمود. ویرایش و تطبیق ترجمه با متن اصلی کتاب بویژه به علت تایپ مجدد مستلزم دقت و وسواس مضاعف بود که این امر را همکار عزیز جناب آقای دکتر محمد رضا رئوفی به خوبی و با صرف وقت بسیار انجام داد. در اینجا از زحمات و دقت ایشان کمال تشکر را دارم. با وجود تمام دقت‌های صورت گرفته ممکن است اشکالات و اشتباهاتی در ترجمه موجود باشد که مسئولیت تمام آنها به عهده من است. در پایان از مسئولین محترم مرکز نشر دانشگاه بویژه جناب آقای دکتر کوشش خواجویی و سرکار خانم شیروانی کمال تشکر را دارم.

حمیدرضا ظهوری زنگنه

دانشکده علوم ریاضی

دانشگاه صنعتی اصفهان

hamidz@cc.iut.ac.ir

http://zangeneh.iut.ac.ir

تابستان ۱۳۹۱

پیش گفتار مؤلفین

سی سال پس از چاپ اولین ویرایش این کتاب، در شاخه ریاضی که به دستگاه‌های دینامیکی شناخته شده است تغییرات بسیاری رخ داده است. در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی ما دسترسی بسیار کمی به رایانه‌ها با سرعت بالا و تصویربرداری رایانه‌ای داشتیم. کلمه آشوب هیچ‌گاه در چهارچوب ریاضی استفاده نشده بود و علاقه به نظریه معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی به گروه نسبتاً کوچکی از ریاضیدانان محدود بود. این نگرش در طول سه دهه گذشته به شکل حیرت‌آوری تغییر یافته است. رایانه‌ها همه جا هستند، بسته‌های رایانه‌ای که از آن‌ها می‌توان در تقریب جواب‌های معادله دیفرانسیل استفاده و نتایج را به صورت تصویری مشاهده کرد، به طور وسیعی در دسترس قرار دارد. در نتیجه تحلیل دستگاه‌های غیرخطی از معادلات دیفرانسیل بسیار بیشتر از آن که قبلاً وجود داشت، هم اکنون در دسترس است. کشف دستگاه‌های دینامیکی پیچیده مانند نگاشت نعل اسبی، پیچش‌های هموکلینیک و دستگاه لورتر و تحلیل‌های ریاضی آن‌ها، دانشمندان را قانع کرد که حالت‌های پایدار همانند حالت تعادلی و یا جواب‌های تناوبی همواره مهم‌ترین رفتار جواب‌های معادلات دیفرانسیل نیستند. زیبایی و دسترسی نسبی این پدیده‌های آشوبناک دانشمندان و مهندسين در رشته‌های مختلف را برانگیخت تا با دقت بیشتری به معادلات دیفرانسیل مهم در رشته‌های خود بپردازند. امروزه پدیده‌های دستگاه‌های دینامیکی تقریباً در هر شاخه از علم، مانند واکنش‌نوسانی، فلسف-ژاتینسکی^۱ در شیمی تا مدار آشوبناک چوا در مهندسی الکترونیک، از حرکات پیچیده در مکانیک سماوی تا انشعابات در سیستم‌های زیستی ظاهر می‌شوند. در نتیجه مخاطبان یک کتاب در معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی به طور قابل توجهی وسیع‌تر و متنوع‌تر از آن چه که در دهه ۱۹۷۰ بود، شده است. بنابراین با توجه به این نکته چند تغییر اساسی در کتاب شامل موارد زیر انجام دادیم:

۱. بررسی جبر خطی با عمق کمتری صورت گرفته است. از کار کردن با کلیتی که لازمه کار در فضا‌های برداری مجرد و فضا‌های خطی نرم‌دار است پرهیز کردیم. در اینجا دیگر اثبات کامل کاهش تمامی ماتریس‌های $n \times n$ به ماتریس‌ها در فرم متعارف را نیاورده ایم بلکه در وهله اول با ماتریس‌هایی حداکثر 4×4 کار می‌کنیم.

¹Belousov-Zhabotinsky

۲. یک تحلیل با جزئیات از رفتار مجانبی در رباینده لورتر، و دستگاه شلنیکف و رباینده پیچش دوگانه را ارائه داده ایم.

۳. کاربردهای بسیاری اضافه شده است؛ کاربردهای قبلی به روز شده است.

۴. چندین فصل در رابطه با دستگاه‌های دینامیکی گسسته اضافه شده است.

۵. در ابتدا با دستگاه‌های C^∞ کار می‌کنیم، بنابراین بسیاری از فرض‌های قضایا ساده می‌شوند.

کتاب شامل سه قسمت اساسی است. قسمت اول به بررسی دستگاه‌های خطی به همراه معادلات غیرخطی مرتبه اول می‌پردازد. قسمت دوم کتاب، قسمت اصلی کتاب است. در این قسمت بر دستگاه‌های غیرخطی به ویژه دوبعدی و همچنین کاربرد این دستگاه‌ها در رشته‌های بسیار متنوع متمرکز می‌شویم. قسمت سوم به دستگاه‌های با بعد بالاتر می‌پردازد. در این قسمت به انواع رفتار آشوبناک که در دستگاه‌های سطح اتفاق نمی‌افتد می‌پردازیم و همچنین ابزارهای اصلی مطالعه چنین رفتاری یعنی تلاش به یک دستگاه دینامیکی گسسته را معرفی می‌کنیم. نوشتن یک کتاب برای مخاطبان متنوع با زمینه‌های بسیار متفاوت نویسنده را به مبارزه می‌طلبد. ما به این کتاب به عنوان کتابی برای دومین درس در معادلات دیفرانسیل نگاه می‌کنیم که تنها ریاضیدانان را هدف قرار نداده است، بلکه همچنین به دانشمندان و مهندسی‌نی توجه داریم که در جستجوی کسب توانایی‌های کافی ریاضی برای تحلیل معادلات دیفرانسیلی هستند که در رشته آن‌ها ظاهر می‌شوند. بسیاری از کسانی که به مطالعه این کتاب می‌پردازند کسانی با زمینه‌های قوی در حیر خطی هستند، اما دیگران اطلاعات کمی در این زمینه دارند. برای آن‌که کتاب قابل دسترس برای هر دو دسته باشد با معرفی مقدماتی از معادلات دیفرانسیل با بعد پانزین شروع می‌کنیم. بسیاری از این مطالب یک دوره برای کسانی است که مطالعه عمیق‌تر در معادلات دیفرانسیل دارند. بنابراین برخی مطالب جدید را در قسمت‌های اولیه کتاب برای این دسته از خوانندگان قرار دادیم. به طور مثال فصل اول به بررسی معادلات مرتبه اول می‌پردازد. این فصل را با بحث درباره معادلات خطی و مدل لجستیک جمعیت شروع کردیم، مطالبی را که برای هر کس با اطلاعات کم چیز از معادلات دیفرانسیل، آشناست. در ورای این دوره، مدل جمعیت با برداشت ثابت و تناوبی را بحث می‌کنیم. این به ما اجازه معرفی انشعاب را در مراحل اولیه و همچنین تشریح نگاشت پوانکاره و جواب‌های تناوبی را می‌دهد. این موضوعات معمولاً در دروس مقدماتی معادلات دیفرانسیل معرفی نمی‌شوند. با وجود این برای هر کس آشنا با حساب دیفرانسیل و انتگرال چند متغیره قابل درک است. البته ممکن است خوانندگان با اطلاعات محدود ترجیح بدهند که از این موضوعات در ابتدا صرف نظر کرده و بر مطالب مقدماتی متمرکز شوند. در فصل‌های ۲ تا ۶ به بررسی دستگاه‌های خطی از معادلات دیفرانسیل می‌پردازیم. مجدداً در فصل ۲ و ۳، بررسی دستگاه‌های سطح معادلات دیفرانسیل و جبر خطی دوبعدی را به آهستگی شروع می‌کنیم. در فصول ۵ و ۶ دستگاه‌های خطی از بعد بالاتر را معرفی می‌کنیم. اما تأکید ما بر روی دستگاه‌های با بعد ۳ و ۴ به جای کار بر روی دستگاه‌های کلی n بعدی است. اگر

چه ممکن است بسیاری از روش های مطرح شده قابل تعمیم به ابعاد بالاتر باشد. قسمت اصلی کتاب در بخش دوم قرار دارد. در این بخش توجه خود را معطوف به دستگاه های غیرخطی می کنیم. برخلاف دستگاه های خطی، دستگاه های غیرخطی مشکلات نظری جدی مانند وجود و یکتایی جواب ها، وابستگی جواب ها به شرایط اولیه و پارامتر و مشابه آن را نمایش می دهند. به جای درگیر شدن فوری با این سؤالات مشکل نظری که نیازمند پیشتیاذهای قوی از آنالیز حقیقی است تنها نتایج مهم را در فصل ۷ بیان کرده و مجموعه ای از مثال ها را ارائه می دهیم که نمایشگر باید ها و نبایدها در این قضایاست. در چند فصل اولیه قسمت غیرخطی کتاب، روش های مهمی مانند خطی کردن در نزدیکی نقطه تعادل، تحلیل هم شیب صفر، خواص پایداری، مجموعه های حدی و نظریه انشعاب را معرفی می کنیم. در بخش دوم این قسمت، این ایده ها را در مورد مجموعه ای از دستگاه ها که در بیولوژی، مهندسی الکترونیک، مکانیک و دیگر زمینه ها ظاهر می شوند به کار می گیریم. بسیاری از فصول به بخشی تحت عنوان «کاوش» ختم می شود. این بخش ها شامل مجموعه ای از سؤالات و محاسبات عددی درباره یک موضوع خاص و یا کاربرد مرتبط با مطالب قبلی است. در هر یک از این کاوش ها مقدمه ای خلاصه از موضوع تحت بررسی را ارائه داده و مراجعی برای مطالعات بیشتر درباره این موضوع ارائه می دهیم. اما نحوه بررسی رفتار دستگاه حاصله با استفاده از مطالب ارائه شده قبلی را به عهده خواننده می گذاریم. اغلب مجموعه ای از مسائل مقدماتی ارائه می دهیم که راهنمای نحوه ادامه کار است، اما در بسیاری از حالات، یک تحلیل کامل دستگاه می تواند تبدیل به یک پروژه تحقیقاتی اصلی شود. پاسخ این سؤالات را در «پاسخ های انتهای کتاب» نخواهید یافت. در برخی حالات هیچ کس پاسخ کامل را نمی داند (البته احتمالاً به جز شما!). قسمت پایانی کتاب منحصر به بررسی رفتار پیچیده غیرخطی دستگاه ها از بعد بالاتر می شود که به رفتارهای آشوبناک شناخته شده اند. این ایده ها را از طریق دستگاه معادلات دیفرانسیل مشهور لورتر ارائه می دهیم. همان گونه که اغلب در ابعاد سه و بالاتر چنین است، مسأله درک رفتار پیچیده این معادلات دیفرانسیل را، به درک دینامیک دستگاه های دینامیکی گسسته و یا تابع تکرار کاهش می دهیم. بنابراین یک گذر به دنیای دستگاه های دینامیکی گسسته می کنیم و در طول آن چگونگی استفاده از دینامیک نمادین در تشریح کامل برخی دستگاه های آشوبناک را بحث می کنیم. مجدداً به معادلات دیفرانسیل غیرخطی، برای به کارگیری این روش ها به دیگر دستگاه های آشوبناک باز می گردیم. که شامل دستگاه هایی است که در آن ها مدارهای هورویچیک وجود دارند. یک وبگاه در math.bu.edu/hsd حفظ کرده ایم که خود را وقف مطالب مرتبط با این کتاب کرده است. در آن جا اشتباهات، پیشنهادات و دیگر موضوعات مورد علاقه اساتید و دانشجویان معادلات دیفرانسیل را پیدا خواهید کرد. در این سایت از هر گونه پیشنهاد و مطالب خوانندگان استقبال می کنیم. تشکر از بارد ارمنتراوت^۱، جان گوکنهایمر^۲، تاسوکیپر^۳، جرال مارسدن^۴، گرت رابرتس^۵ به خاطر پیشنهادات بسیار خوب آن ها در مورد نسخه های اولیه این ویرایش به طور ویژه باعث

^۱Bard Ermentrout ^۲John Guckenhieme ^۳Tasso Kaper ^۴Jerrold Marsden ^۵Gareth Roberts

خوشوقتی است. همین طور به طور خاص باید از دانیل لوک^۱ و ریچارد موکل^۲ برای مطالعه دقیق تمامی متن تشکر کرد. بسیاری از ترسیمات صفحه فاز در این کتاب با استفاده بسته نرم افزاری^۳ عالی متمتیکا به نام Dynpac (یک بسته نرم افزاری دستگاه‌های دینامیکی که برای متمتیکا نوشته شده) توسط آل کلارک^۴ است. به آدرس www.me.rochester.edu/clark/dynpac.html رجوع کنید. مانند همیشه کیلر دیوینی^۴ متن را یکنواخت کرده است، تمامی اشتباهات باقی مانده صریحاً به وی است.

www.ketab.ir

^۱ Daniel Look ^۲ Richard Moeckel ^۳ Al Clark ^۴ Killer Devaney