

۷۲۱۹۸۰۵

مدل سازی سیستم های زیستی

تصنیف:

دکتر فرزاد توحیدخواه

(استاد دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

دکتر گلناز بغدادی

www.ketab.ir

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	: توحیدخواه، فرزاد، ۱۳۳۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: مدل سازی سیستم های زیستی / تصنیف فرزاد توحیدخواه، گلناز بغدادی.
مشخصات نشر	: تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۸۴۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ISBN: 978-964-210-374-4؛ ریال؛ ۲۱۰۰۰۰۰
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۸۲۳] - ۸۲۹.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: زیست شناسی - الگوها - Biological models
سه افزوده	: بغدادی، گلناز، ۱۳۶۲ -
شناسه افزوده	: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیر کبیر، انتشارات
رده بندی کنگره	: QH۳۲۴/۸
رده بندی دیویی	: ۵۷۰/۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۴۱۴۷۷۷
وضعیت رکورد	: فیبا

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۰/۰۱/۲۹ شورای نشر کتاب جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار، دریافت نموده است.



واحد صنعتی امیر کبیر

مدل سازی سیستم های زیستی

تصنیف: دکتر فرزاد توحیدخواه، دکتر گلناز بغدادی

ناشر	: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
مدیر مسؤول	: دکتر مهدی ورسه ای
نوبت چاپ	: اول
سال چاپ	: ۱۴۰۰
قطع	: وزیری
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۲۱۰۰۰۰۰ ریال
طراح	: آرزو انصاری
چاپخانه	: صدف



ISBN: 978-964-210-374-4

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۳۷۴-۴

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶ + تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶ +
فروشگاه اینترنتی: www.jdamirkabir.ac.ir

پیشگفتار ناشر

اَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّخْدِ

توانمندسازی پایه‌های علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور از وظایف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. این مهم، ضمن افزایش اقتدار علمی کشور در عرصه‌های بین‌المللی؛ زمینه‌ساز استقلال اقتصادی با محوریت یافته‌های فن‌آورانه و دانش‌بنیان می‌گردد که خود از ارکان اصلی توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. هم‌چنین واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسی به اطلاعات روز علمی و تکنولوژی‌های مدرن؛ نیاز اولیه برای توانمندسازی پایه‌های علمی به‌شمار می‌رود.

بر این اساس جهادگران جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر با مدیریت جهادی خود علاوه بر فعالیت‌های فرهنگی، پژوهش‌های فن‌آورانه و نیز آموزش‌های تخصصی فن‌آور و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمی متخصصان و دانشگاهیان فرهیخته کشور و هم‌چنین ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنیا توسط "انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر «پلی تکنیک تهران»" که یکی از معتبرترین انتشارات دانشگاهی در حوزه علوم پایه و مهندسی می‌باشد؛ به وظیفه انقلابی و اعتقادی خویش جامه عمل پوشانده و امیدوار است بتواند نیازهای علمی پژوهشگران، دانشجویان و بویندگان راه علم را در تحقق آرمان‌های اصیل انقلاب فراهم سازد.

این کتاب به روح پرفتوح معمار کبیر انقلاب، شهدا و ایثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ویژه شهدای گرانقدر جهاد دانشگاهی و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تقدیم می‌گردد. امید است دانشگاهیان و فعالین عرصه‌های علم و فن‌آوری کشور، بوینده راه این شهیدان والا مقام همچون شهدای جهاد علمی، در محیط مقدس و انسان‌ساز دانشگاه باشند.

از همه عزیزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا می‌شود این انتشارات را از نظرات تخصصی و پیشنهادات راهگشای خود در جهت ارتقاء سطح علمی کتب منتشره و هم‌چنین گسترش زمینه‌های علمی آن‌ها، بهره‌مند سازند.

«هماره در پرتو الطاف الهی پیروز و سربلند باشید»

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

پیشگفتار

از دیرباز انسان‌ها تمایل داشته‌اند که محیط اطراف خود را درک، پیش‌بینی و کنترل کنند. این تمایل، به‌طور غریزی انسان‌ها را به این سمت سوق می‌دهد که نحوه رفتار و عملکرد طبیعت پیرامون خود را شناسایی کنند و نتیجه را در قالب مدل‌های مختلف به ذهن بسپارند و در مواقع لازم از آن‌ها برای حفظ حیات خود استفاده کنند.

ورای این حس غریزی، دانشمندان در حوزه‌های مختلف به‌خصوص در حوزه‌های مهندسی سعی می‌کنند به‌طور مشابه ولی با رویکردی منظم‌تر، سازمان یافته‌تر و کمی‌تر رفتار سیستم‌های مختلف را شناسایی و مدل‌سازی کنند. مدل‌سازی و شبیه‌سازی از ابزارهای بسیار مهم در مهندسی سیستم‌ها بوده و جزء دروس اصلی در کلیه رشته‌های مهندسی و علوم هستند.

ابزار مدل‌سازی نه تنها به محققین کمک می‌کند که درک بهتری از کارکرد سیستم‌ها و فرایندهای پیرامون خود داشته باشند، بلکه آن‌ها را قادر می‌سازد رفتار سیستم‌ها را پیش‌بینی کرده و آن‌ها را تحت شرایط مختلف تجزیه و تحلیل کنند.

مزیت‌های ذکر شده در مورد ابزار مدل‌سازی، در مورد سیستم‌های زیستی پررنگ‌تر شده، در حدی که وجود آن را بسیار ضروری می‌سازد. زیرا سیستم‌های زیستی به‌خصوص بدن انسان با حساسیت‌های ویژه‌ای همراه هستند و در اکثر موارد جهت شناخت بیشتر، بررسی کارایی روش‌های تشخیصی و درمانی مختلف و یا کنترل عملکرد آن‌ها نمی‌توان بر روی آن‌ها آزمایش‌هایی را بر مبنای سعی و خطا انجام داد. چنین آزمون‌هایی برای سیستم‌های زیستی ضمن اینکه با عواقب نامطلوب و خطر قابل‌توجهی همراه است، بعضاً بسیار زمان‌بر و هزینه‌بر است. از این‌رو اعمال تحریک‌های مختلف و آزمایش‌های متنوع بر روی مدلی از این سیستم‌ها، که می‌تواند رفتار آن‌ها را تقلید نماید، بسیار مقرون‌به‌صرفه است و احتمال

خطر را به میزان معناداری کاهش می دهد. البته باید توجه داشت که به علت پیچیدگی سیستم های زیستی و نبود دانش کافی و قابل اعتماد در مورد این سیستم ها و تغییر دینامیک این سیستم در طی گذر زمان، استخراج مدلی که بتواند به طور مطلوب رفتار آن ها را توصیف نماید، کار ساده ای نیست. علاوه بر اینکه مدل ها معمولاً یک یا چند جنبه از این سیستم ها را پوشش می دهند و به لحاظ عملیاتی نمی توان مدل هایی را طراحی نمود که تمامی جوانب یک سیستم زیستی را در برداشته باشد. به این ترتیب مشاهده می شود که در مدل سازی سیستم های زیستی با چالش های متعددی روبرو خواهیم بود که ممکن است در مورد سیستم های ساخته دست انسان وجود نداشته باشند.

روش های متعددی برای مدل سازی سیستم ها و فرایندهای زیستی وجود دارد. لازم به ذکر است که این روش ها در مورد سیستم های غیر زیستی نیز قابل استفاده هستند. این روش ها را از یک جنبه می توان به مدل های محاسباتی و مدل های کیفی تقسیم بندی نمود و از جنبه دیگر می توان آن ها را به دو دسته مقدماتی نظیر روش های بر پایه تابع تبدیل، پاسخ ضربه، پاسخ پله و یا آنالیز طیف و پیشرفته مانند شبکه های عصبی، قوانین فازی و یا تئوری آشوب طبقه بندی نمود. در این کتاب تمرکز بر روی مدل های محاسباتی بر اساس روش های مقدماتی است و به روش های پیشرفته در مدل سازی پرداخته نمی شود.

این کتاب در دو بخش مباحث تئوری و مباحث کاربردی تنظیم شده است. در بخش اول در شش فصل، مباحث پایه و الگوریتم های مربوط به روش های مختلف شناسایی سیستم و مدل سازی ارائه شده است و سعی شده است به ارائه مثال های متنوع نحوه استفاده از این روش ها تفهیم شود. همچنین در این بخش با پیاده سازی مثال های ساده در محیط نرم افزار متلب، نحوه استفاده از این الگوریتم ها به صورت کاربردی ارائه شده است. در بخش دوم کتاب، در هفت فصل، به کاربردهای مختلف روش های مدل سازی مقدماتی در مورد سیستم های زیستی پرداخته شده است. در این فصل ها مثال های پیچیده تر با تنوع بیشتری آورده شده است تا به محققین یک دید پایه در مورد نحوه استفاده از روش های ارائه شده داده شود. سعی شده است مطالب این کتاب به خصوص در بخش اول که شامل پایه های تئوری مسئله است، زبان ساده و قابل درک داشته باشد تا برای مبتدیان در این زمینه انگیزه و توانمندی لازم ایجاد گردد. این کتاب را می توان به عنوان پیش نیاز جهت یادگیری راحت تر روش های مدل سازی پیشرفته در نظر گرفت و هدف اصلی آن ایجاد درک اساسی از اهمیت و کاربردهای مدل سازی به خصوص در سیستم های زیستی، توانایی به کارگیری و پیاده سازی انواع روش های مقدماتی مدل سازی و توانایی شبیه سازی و ارزیابی این مدل ها در خوانندگان است.

کتاب های لاتین موجود به طور جامع به تمامی جنبه های مدل سازی به خصوص در مورد سیستم های زیستی نپرداخته اند و متأسفانه مرجع کاملی وجود ندارد که هر دو جنبه نظری و کاربردی را در این زمینه

پوشش دهد. به این ترتیب، از آنجایی که تاکنون مرجع جامع و مناسبی از مدل سازی سیستم های زیستی در زبان فارسی و لاتین وجود نداشته است، کتاب حاضر که نتیجه سال ها تدریس درس مدل سازی توسط نویسنده اول کتاب در دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر است، می تواند به عنوان یک منبع مناسب برای درس مدل سازی در رشته مهندسی پزشکی و همچنین دیگر رشته های مهندسی و علوم پایه نظیر مهندسی برق، مهندسی مکانیک، مهندسی مکترونیک، مهندسی کامپیوتر، مهندسی شیمی، علوم اعصاب شناختی، ریاضی، فیزیک و یا اقتصاد در نظر گرفته شود.

مخاطب اصلی این کتاب محققین و دانشجویان در مقاطع تحصیلات تکمیلی هستند ولی نظر به بیان ساده مطالب و ارائه مثال های متنوع، دانشجویان در مقطع کارشناسی نیز می توانند از آن در انجام پروژه ها و تحقیقات خود استفاده لازم را ببرند و امید بر آن بوده است که این کتاب بتواند وسیله ای باشد که راه ورود به این حوزه را برای دانشجویان در تمامی مقاطع و دیگر علاقه مندان هموارتر بنماید.

از آنجایی که هیچ اثری از انسان وجود ندارد که خالی از اشکال باشد، لذا از خوانندگان محترم تقاضا می شود که با ارسال مشکلات موجود در کتاب، ما را در ویرایش و اصلاح آن یاری برسانند.

در انتها جا دارد که از جناب آقای دکتر احمدی پژوه و نیز از تمامی دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که آماده سازی این کتاب را امکان پذیر کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

فرزاد توحید خواه

(towhidkhah@aut.ac.ir)

گلناز بغدادی

(golnaz_baghdadi@aut.ac.ir)

دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بهار ۱۴۰۰

فهرست

بخش ۱: مباحث تئوری

فصل ۱: کلیات و تعاریف اولیه	۲۷
۱-۱- مقدمه	۲۷
۲-۱- سیگنال و سیستم	۲۷
۳-۱- انواع سیستم‌ها	۳۱
۱-۳-۱- سیستم‌های الکتریکی، مکانیکی، شیمیایی و حرارتی	۳۲
۲-۳-۱- سیستم‌های خطی و غیرخطی	۳۳
۳-۳-۱- سیستم‌های متغیر با زمان و تغییرناپذیر با زمان	۳۷
۴-۳-۱- سیستم‌های یک ورودی، یک خروجی (SISO) و چند ورودی، چند خروجی (MIMO)	۳۷
۵-۳-۱- سیستم‌های قطعی و تصادفی	۳۷
۶-۳-۱- سیستم‌های پیوسته زمانی و گسسته زمانی	۳۸
۷-۳-۱- سیستم‌های دینامیکی یا استاتیکی	۳۹
۸-۳-۱- سیستم‌های فشرده و گسترده	۳۹
۴-۱- مدل‌سازی و شبیه‌سازی	۴۰
۵-۱- انواع مدل	۴۱

۴۱.....	۱-۵-۱- مدل های فیزیکی.....
۴۱.....	۲-۵-۱- مدل کتی و سمبولیک.....
۴۱.....	۳-۵-۱- مدل های ریاضی.....
۴۲.....	۴-۵-۱- مدل های گرافیکی.....
۴۲.....	۵-۵-۱- مدل های ذهنی (کیفی).....
۴۲.....	۶-۵-۱- مدل های جعبه سیاه، سفید و خاکستری.....
۴۳.....	۷-۵-۱- مدل های رفتاری و ساختاری.....
۴۳.....	۸-۵-۱- مدل های میکروسکوپی و ماکروسکوپی.....
۴۳.....	۶-۱- کاربردهای مدل سازی.....
۴۳.....	۱-۶-۱- کنترل.....
۴۶.....	۲-۶-۱- پیش بینی.....
۴۶.....	۳-۶-۱- تحلیل سیستم.....
۴۶.....	۴-۶-۱- آموزش.....
۴۷.....	۵-۶-۱- طراحی سیستم ها.....
۴۸.....	۷-۱- خلاصه فصل.....
۴۸.....	۸-۱- تمرین ها.....
۵۱.....	فصل ۲: مدل سازی به روش تحلیلی
۵۱.....	۱-۲- مقدمه.....
۵۱.....	۲-۲- مراحل مدل سازی تحلیلی.....
۵۲.....	۱-۲-۲- تعیین ورودی (ها) و خروجی (ها).....
۵۲.....	۲-۲-۲- تعیین متغیرهای اصلی و ثانویه.....
۵۳.....	۳-۲-۲- نوشتن روابط ریاضی و دینامیکی سیستم.....
۵۳.....	۴-۲-۲- خطی سازی معادلات غیرخطی.....
۵۶.....	۵-۲-۲- تبدیل معادلات دیفرانسیل به جبری (تبدیل لاپلاس).....
۵۷.....	۶-۲-۲- به دست آوردن رابطه ورودی-خروجی (تابع تبدیل).....

۳-۲- مدل سیستم در فضای حالت ۵۷

۲-۳-۱- تعریف حالت سیستم ۵۷

۲-۳-۲- به دست آوردن معادلات حالت ۵۸

۲-۳-۳- نمایش ماتریسی معادلات حالت ۵۹

۲-۳-۴- نمایش بلوک دیاگرامی توصیف یک سیستم خطی در فضای حالت ۶۰

۲-۳-۵- به دست آوردن معادلات حالت از تابع تبدیل ۶۲

۲-۳-۶- به دست آوردن تابع تبدیل با استفاده از معادلات حالت ۶۳

۲-۴- تعریف سیستم‌های آنالوگ ۶۴

۳-۵- مدل‌سازی سیستم‌های آنالوگ ۶۶

۲-۵-۱- سیستم‌های الکتریکی ۶۷

۲-۵-۲- سیستم‌های مکانیکی ۶۸

۲-۵-۳- سیستم‌های سیالاتی ۷۴

۲-۵-۴- فرایند نفوذ ۸۵

۲-۵-۵- انتقال ماده توسط نفوذ (نفوذ دوطرفه) ۸۸

۲-۵-۶- فرایندهای شیمیایی ۸۹

۲-۵-۷- سایر سیستم‌های مرتبط با انسان ۹۳

۲-۶- روش گراف خطی ۹۳

۲-۶-۱- گراف خطی برای ترانسفورماتور ۹۳

۲-۶-۲- گراف خطی اهرم ۹۴

۲-۶-۳- گراف خطی چرخ‌دنده ۹۵

۲-۷- خلاصه فصل ۹۶

۲-۸- تمرین‌ها ۹۷

فصل ۳: شناسایی سیستم با استفاده از روش‌های غیر پارامتریک ۱۰۳

۳-۱- مقدمه ۱۰۳

۳-۲- روش‌های زمانی ۱۰۴

۱۰۴	۳-۲-۱- روش پاسخ ضربه
۱۰۸	۳-۲-۲- روش پاسخ پله
۱۱۷	۳-۲-۳- روش تحلیل همبستگی
۱۳۰	۳-۳- روش های فرکانسی
۱۳۱	۳-۳-۱- آزمون موج سینوسی
۱۳۶	۳-۳-۲- آزمون سینوسی بهبود یافته
۱۳۹	۳-۳-۳- روش آنالیز طیفی
۱۴۵	۳-۴- خلاصه فصل
۱۴۶	۳-۵- تمرین ها
۱۵۱	فصل ۴: شناسایی سیستم به روش پارامتریک
۱۵۱	۴-۱- مقدمه
۱۵۲	۴-۲- فرایند مدل سازی به روش پارامتریک
۱۵۴	۴-۳- مرحله اول: تعیین ساختار مدل
۱۵۵	۴-۳-۱- مدل های تابع تبدیل
۱۷۰	۴-۳-۲- رگرسیون خطی
۱۷۱	۴-۳-۳- مدل های فضای حالت
۱۷۱	۴-۴- مرحله دوم: تخمین پارامترهای مدل
۱۷۲	۴-۴-۱- روش تخمین حداقل مربعات (LS)
۱۸۰	۴-۴-۲- بیان هندسی روش حداقل مربعات
۱۸۱	۴-۴-۳- تحلیل آماری روش حداقل مربعات
۱۸۳	۴-۴-۴- استفاده از الگوریتم LS در تخمین پارامترهای مدل های خانواده ARMA
۱۸۹	۴-۴-۵- استفاده از الگوریتم LS در تخمین پارامترهای مدل های فضای حالت
۱۸۹	۴-۴-۶- استفاده از الگوریتم LS برای سیستم های غیر خطی
۱۹۲	۴-۴-۷- روش حداقل مربعات وزن یافته (WLS)
۱۹۴	۴-۴-۸- روش تعمیم یافته حداقل مربعات خطا (GLS)

۱۹۵	۹-۴-۴ روش بازگشتی حداقل مربعات خطا (RLS)
۲۰۴	۱۰-۴-۴ استفاده از روش RLS در سیستم‌های متغیر با زمان
۲۰۵	۱۱-۴-۴ روش خطای پیش‌بینی (PEM)
۲۱۴	۱۲-۴-۴ روش خطای پیش‌بینی بازگشتی (RPEM)
۲۲۰	۱۳-۴-۴ روش بیشینه شباهت (ML)
۲۲۷	۱۴-۴-۴ روش متغیرهای کمکی یا ابزاری (IV)
۲۳۶	۱۵-۴-۴ روش متغیرهای کمکی یا ابزاری بازگشتی (RIV)
۲۳۷	۵-۴ خلاصه فصل
۲۳۷	۳-۶ تمرین‌ها
۲۴۳	فصل ۵: انتخاب ورودی و ارزیابی مدل
۲۴۳	۱-۵ مقدمه
۲۴۴	۲-۵ معرفی انواع ورودی‌ها
۲۴۴	۱-۲-۵ تابع پله
۲۴۴	۲-۲-۵ ورودی PRBS
۲۴۵	۳-۲-۵ دنباله ARMA
۲۴۶	۴-۲-۵ مجموع سینوس‌ها
۲۴۷	۳-۵ مشخصات طیف
۲۴۸	۱-۳-۵ مشخصات طیف PRBS
۲۴۹	۲-۳-۵ مشخصات طیف یک فرایند ARMA
۲۵۱	۳-۳-۵ مشخصات طیف مجموع سینوسی‌ها
۲۵۴	۴-۳-۵ مقایسه بین نویز سفید فیلتر شده و PRBS فیلتر شده
۲۵۶	۴-۵ فیلتر پایین‌گذر
۲۵۶	۱-۴-۵ فیلتر کردن استاندارد
۲۵۶	۲-۴-۵ افزایش کلاک تناوب
۲۵۹	۳-۴-۵ کاهش احتمال تغییر سطح

۲۶۱	۵-۵- درجه تحریک کنندگی مداوم
۲۶۴	۵-۵-۱- درجه تحریک کنندگی مداوم ورودی نوبز سفید
۲۶۴	۵-۵-۲- درجه تحریک کنندگی مداوم ورودی پله
۲۶۵	۵-۵-۳- درجه تحریک کنندگی مداوم ورودی ضربه
۲۶۵	۵-۵-۴- درجه تحریک کنندگی مداوم ورودی PRBS
۲۶۶	۵-۵-۵- درجه تحریک کنندگی مداوم دنباله ARMA
۲۶۶	۵-۵-۶- درجه تحریک کنندگی مداوم مجموع چند سینوسی
۲۶۷	۵-۶- بررسی برخی خطاها در فرایند مدل سازی
۲۶۸	۵-۶-۱- خطای بایاس
۲۷۰	۵-۶-۲- خطای واریانس
۲۷۴	۵-۷- قابلیت شناسایی سیستم
۲۷۷	۵-۷-۱- انتخاب نامناسب درجهی مدل
۲۷۸	۵-۷-۲- کافی نبودن درجهی غنای ورودی
۲۷۹	۵-۷-۳- وجود فیدبک در سیستم
۲۸۰	۵-۸- مرحله سوم: ارزیابی مدل
۲۸۰	۵-۸-۱- انتخاب معیار ارزیابی مدل
۲۸۱	۵-۸-۲- تقسیم بندی دادگان برای ساخت و ارزیابی مدل
۲۸۳	۵-۸-۳- روش های اعتبارسنجی، بررسی قابلیت اطمینان و تکرارپذیری مدل
۲۸۴	۵-۹- خلاصه فصل
۲۸۵	۵-۱۰- تمرین ها
۲۹۱	فصل ۶: باندگراف
۲۹۱	۶-۱- مقدمه
۲۹۲	۶-۲- flow و effort
۲۹۴	۶-۳- اتصالات
۲۹۹	۶-۵- مبدل ها و ژیراتور ها

۳۰۱	۶-۶- سیستم‌های دارای متغیرهای فیزیکی ترکیبی
۳۰۴	۶-۷- علیت: سیگنال‌های بین زیرسیستم‌ها
۳۰۹	۶-۸- معادلات حالت باند گراف
۳۱۲	۶-۹- مسائل مدل‌سازی بد تعریف و باند گراف‌ها
۳۱۳	۶-۱۰- عناصر کنترل‌شده
۳۱۷	۶-۱۱- نکات قابل ذکر بیشتر
۳۱۸	۶-۱۱-۱- یک روش قاعده‌دار برای تبدیل مدارهای الکتریکی به باند گراف
۳۱۹	۶-۱۱-۲- یک روش قاعده دار برای سیستم‌های مکانیکی
۳۲۴	۶-۱۲- مثال‌هایی از مدل‌سازی سیستم‌های زیستی با رهیافت باندگراف
۳۳۵	۶-۱۳- خلاصه فصل
۳۳۶	۶-۱۴- تمرین‌ها

بخش ۲: کاربردها

۳۴۱	فصل ۷: مدل‌های سلولی
۳۴۱	۷-۱- مقدمه
۳۴۱	۷-۲- سلول عصبی (نورون)
۳۴۲	۷-۲-۱- انواع رفتار نورون
۳۴۵	۷-۲-۲- پتانسیل استراحت
۳۴۸	۷-۲-۳- معادله نرنست
۳۵۰	۷-۲-۴- معادلات گولدمن-هاچکین-کتس (GHK)
۳۵۳	۷-۲-۵- مدار معادل الکتریکی
۳۵۶	۷-۲-۶- ثابت زمانی غشا
۳۵۸	۷-۲-۷- معادله کابل
۳۶۲	۷-۲-۸- پتانسیل عمل در ماهی مرکب
۳۶۴	۷-۲-۹- کانال‌های دریچه‌دار ولتاژی

- ۳۶۵ مدل هاجکین-هاکسلی ۱۰-۲-۷
- ۳۷۲ نگاهی دوباره به پتانسیل عمل ۱۱-۲-۷
- ۳۷۷ مدل فیتزو-ناگومو ۱۲-۲-۷
- ۳۷۸ مدل موریس-لسار ۱۳-۲-۷
- ۳۸۰ مدل ویلسون ۱۴-۲-۷
- ۳۸۰ مدل انتگرال-آتش ۱۵-۲-۷
- ۳۸۲ مدل ایزکویچ ۱۶-۲-۷
- ۳۸۴ مدل هیندمارش-رز ۱۷-۲-۷
- ۳۸۵ مدل الکتریکی از یک سلول زیستی و کاربرد الکتروپوریشن ۳-۷
- ۳۸۶ الکتروپوریشن ۱-۳-۷
- ۳۸۷ اصول پایه ای الکتروپوریشن ۲-۳-۷
- ۳۸۹ مدل الکتریکی ۳-۳-۷
- ۳۹۵ مدل سازی الکتروفیزبولوژیکی متابولیک سلول های بتای لوزالمعده ۴-۷
- ۳۹۷ انتقال و متابولیسم گلوکز ۱-۴-۷
- ۳۹۸ مدل سازی خواص تحریک پذیری الکتریکی یک سلول ۲-۴-۷
- ۳۹۹ مدل سلول پورکینز قلب ۵-۷
- ۴۰۳ مدل سازی واسط الکترود-سلول در ثبت فعالیت های الکتریکی سلول ها ۶-۷
- ۴۰۲ مدل غشاء سلول ۱-۶-۷
- ۴۰۲ مدل واسط سلول-الکتروود ۲-۶-۷
- ۴۰۳ مدل الکترود ۳-۶-۷
- ۴۰۴ تابع تبدیل سیستم ۴-۶-۷
- ۴۰۷ خلاصه فصل ۷-۷
- ۴۰۹ فصل ۸: سیستم های حرکتی
- ۴۰۹ ۱-۸ مقدمه
- ۴۰۹ ۲-۸ فیزیولوژی سیستم عضلاتی یا دستگاه ماهیچه ای

۴۱۵	۳-۸- روابط مدل محاسباتی هیل
۴۲۵	۴-۸- حرکات پا
۴۲۷	۱-۴-۸- مدل دوپایی
۴۲۸	۲-۴-۸- مدل روپات همایی ($BLR-G_1$)
۴۳۰	۵-۸- مدل سازی بدن در حالت ایستاده
۴۳۲	۶-۸- حرکات دست
۴۳۲	۱-۶-۸- مدل حرکات دست
۴۳۴	۲-۶-۸- مدل شش عضله برای تخمین سفتی دست
۴۳۷	۳-۶-۸- مدل دینامیک دست بدون نیروی جاذبه
۴۳۷	۴-۶-۸- مدل ساده برای حرکت دوبعدی یک بازوی دو قسمتی
۴۴۲	۷-۸- حرکات چشم
۴۴۴	۸-۸- مدل دستگاه حرکتی چشم بر اساس مدل عضله هیل
۴۴۴	۱-۸-۸- مدل عضله با خاصیت حالت کشسانی غیرفعال
۴۴۵	۲-۸-۸- مولد نیروی فعال
۴۴۸	۳-۸-۸- قابلیت ارتجاعی (الاستیسیته)
۴۴۹	۴-۸-۸- المان الاستیک سری
۴۵۰	۵-۸-۸- المان الاستیک طول نیرو
۴۵۲	۶-۸-۸- رابطه نیرو سرعت
۴۵۷	۷-۸-۸- مدل کامل ماهیچه
۴۵۸	۸-۸-۸- بافت غیرفعال کره چشم
۴۵۹	۹-۸-۸- ثابت های زمانی فعال و غیرفعال شدن
۴۶۰	۹-۸- مدل مکانیکی ساده شده
۴۶۱	۱۰-۸- مدل ساده از سیستم کنترل حرکات ساکاد
۴۶۳	۱۱-۸- مدل ساده از سیستم کنترل حرکات تعقیبی نرم
۴۶۳	۱-۱۱-۸- مدل بدون تأخیر زمانی

- ۴۶۴ ۸-۱۱-۲- دستگاه زیر میرا شونده حرکت چشم
- ۴۶۷ ۸-۱۱-۳- دستگاه حرکت چشم فرا میرا شونده
- ۴۶۸ ۸-۱۱-۴- دستگاه حرکت چشم فرا میرا با ورودی های سرعت و موقعیت چشم
- ۴۷۰ ۸-۱۱-۵- مدل ساده با تأخیر
- ۴۷۳ ۸-۱۲- مدل جعبه سیاه رابینسون
- ۴۷۵ ۸-۱۲-۱- مدل حرکت سریع چشم وستایمر
- ۴۷۶ ۸-۱۳- سیستم گفتار
- ۴۷۶ ۸-۱۳-۱- ساختار سیستم تولید گفتار
- ۴۷۷ ۸-۱۳-۲- مدل سازی سیستم تولید گفتار
- ۴۹۱ ۸-۱۴- خلاصه فصل
- ۴۹۳ فصل ۹: سیستم قلب و عروق
- ۴۹۳ ۹-۱- مقدمه
- ۴۹۳ ۹-۲- آناتومی قلب
- ۴۹۴ ۹-۲-۱- آناتومی خارجی قلب
- ۴۹۵ ۹-۲-۲- آناتومی داخلی قلب
- ۴۹۷ ۹-۳- عضلات قلب
- ۴۹۹ ۹-۴- سیستم عصبی و هدایت الکتریکی قلب
- ۵۰۲ ۹-۵- میزان کار انجام شده توسط قلب
- ۵۰۲ ۹-۵-۱- افزایش بار کاری قلب
- ۵۰۳ ۹-۵-۲- حمله قلبی
- ۵۰۳ ۹-۵-۳- نارسایی احتقانی قلب
- ۵۰۳ ۹-۵-۴- مشکلات دریچه های قلبی
- ۵۰۳ ۹-۶- مدل سازی سیستم گردش خون و قلب چپ
- ۵۰۴ ۹-۶-۱- مدل سیستم گردش خون قلب چپ
- ۵۱۰ ۹-۶-۲- فعالیت ورزشی

۵۱۲	۹-۶-۳- مدل سازی بیماری نارسایی بطن چپ
۵۱۶	۹-۶-۴- مدل سازی بیماری نارسایی بطنی با در نظر گرفتن حالت فعالیت بدنی
۵۱۷	۹-۶-۵- مدل سیستم گردش خون قلب چپ به همراه پمپ قلبی
۵۲۸	۹-۷- مدل تک محفظه‌ای سیستم قلب و عروق
۵۳۴	۹-۸- مدل انتقال جرم توسط جریان سیال
۵۳۹	۹-۹- مدل رقیق شدن مواد تزریق شده در سیستم قلب و عروق
۵۴۲	۹-۱۰- مدل تغییرات فشار و جریان خون در تغییر وضعیت بدن
۵۵۰	۹-۱۱- مدل ریاضی برای اولین گذر آنتی بیوتیک‌ها در سیستم گردش خون
۵۵۸	۹-۱۳- خلاصه فصل
۵۵۹	فصل ۱۰: سیستم تنفس
۵۵۹	۱۰-۱- مقدمه
۵۵۹	۱۰-۲- دستگاه تنفسی انسان
۵۶۱	۱۰-۲-۱- مدل مرتبه یک الگوهای مختلف تنفسی
۵۶۲	۱۰-۲-۲- شناسایی سیستم تنفسی
۵۷۲	۱۰-۲-۳- مدل سازی سیستم کنترل تنفس
۵۸۲	۱۰-۲-۴- مدل سازی امپدانس تنفسی انسان
۵۸۶	۱۰-۲-۵- شناسایی پارامترهای سیستم تنفسی
۵۹۱	۱۰-۳- خلاصه فصل
۵۹۳	فصل ۱۱: سیستم‌های انتقال مواد، کنترل حرارت و فرایندهای شیمیایی در بدن
۵۹۳	۱۱-۱- مقدمه
۵۹۳	۱۱-۲- سیستم‌های رهایش و انتقال داروها و مواد مختلف در بدن انسان
۵۹۴	۱۱-۲-۱- روش‌های مدل سازی فرایند انتقال دارو در بدن
۵۹۹	۱۱-۲-۲- مدلی برای تزریق برون رگی دارو
۶۰۱	۱۱-۲-۳- مدلی برای تزریق ثابت دارو

۶۰۲	۴-۲-۱۱- جذب و حذف مرتبه اول دارو
۶۰۵	۶-۲-۱۱- مدل دویخشی برای تزریق داخل رگی
۶۰۵	۷-۲-۱۱- مدل دویخشی برای جذب دارو مرتبه اول
۶۰۶	۸-۲-۱۱- مدل فارماکوکینتیک جهت استفاده در سیستم کنترل پمپ تزریق داروی بیهوشی
۶۱۲	۳-۱۱- سیستم حرارتی بدن انسان
۶۱۳	۱-۳-۱۱- مدل احساس حرارتی غیریکنواخت ناشی از پوشیدن لباس
۶۲۴	۲-۳-۱۱- مدل سازی سیستم تثبیت درجهی حرارت در بدن انسان
۶۲۸	۴-۱۱- مدل سازی فرایندهای شیمیایی در بدن
۶۳۷	۵-۱۱- خلاصه فصل
۶۳۹	فصل ۱۲: سیستم های عصبی و شناختی
۶۳۹	۱-۱۲- مقدمه
۶۳۹	۲-۱۲- دستگاه شنوایی در انسان
۶۴۲	۱-۲-۱۲- مدل سازی حلزون گوش
۶۵۰	۲-۲-۱۲- مدل سازی گوش میانی
۶۵۳	۳-۱۲- مدل سازی سلول های افقی قرنیه چشم
۶۵۸	۴-۱۲- مدل سیستم کنترل توجه
۶۵۹	۱-۴-۱۲- ساختار مدل
۶۶۲	۲-۴-۱۲- مبانی محاسباتی مدل
۶۶۷	۳-۴-۱۴- مقدار پارامترهای مدل
۶۷۰	۵-۱۲- خلاصه فصل
۶۷۱	فصل ۱۳: بیماری ها
۶۷۱	۱-۱۳- مقدمه
۶۷۱	۲-۱۳- بیماری ایدز (HIV)
۶۷۲	۱-۲-۱۳- مدل های دینامیک رشد ویروس HIV بدون در نظر گرفتن بیماری

- ۶۸۱..... ۱۳-۲-۲- چگونگی وارد کردن روش‌های درمانی به مدل
- ۶۸۳..... ۱۳-۳- بیماری آسم..... مدل آسم با مهاجرت ثابت..... ۱۳-۳-۱
- ۶۸۳..... ۱۳-۳-۲- مدل آسم با رشد جمعیت منطقی..... ۱۳-۳-۲
- ۶۹۲..... ۱۳-۴- تغییرات حجمی و فشاری مغز در بیماری هیدروسفالوس..... ۱۳-۴-۷۰
- ۷۰۴..... ۱۳-۴-۱- مدل جزء به جزء حجم-فشار: پیش‌زمینه..... ۱۳-۴-۷۰
- ۷۰۷..... ۱۳-۴-۲- مدل جزء به جزء حجم-فشار: تئوری حجم..... ۱۳-۴-۷۰
- ۷۰۸..... ۱۳-۴-۳- مدل تبادل مایعات مویرگی مغز..... ۱۳-۴-۷۰
- ۷۰۹..... ۱۳-۴-۳- شبیه‌سازی..... ۱۳-۴-۷۰
- ۷۱۸..... ۱۳-۵- بیماری MS..... ۱۳-۵-۷۱
- ۷۲۰..... ۱۳-۵-۱- مدل حلقه بسته‌ی وضعیت..... ۱۳-۵-۷۱
- ۷۲۲..... ۱۳-۵-۲- بازشناسی کنترل‌کننده وضعیت و انتخاب درجه‌ی مدل..... ۱۳-۵-۷۱
- ۷۲۴..... ۱۳-۶- متعادل‌سازی مایعات در بیماران کلیوی: دیالیز..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۲۵..... ۱۳-۶-۱- کلیه..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۲۶..... ۱۳-۶-۲- نارسایی کلیه..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۲۶..... ۱۳-۶-۳- همودیالیز..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۲۷..... ۱۳-۶-۴- مایعات بدن و حجم خون..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۲۹..... ۱۳-۶-۵- مدل‌سازی فرایند همودیالیز..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۳۰..... ۱۳-۶-۶- مدل جابجایی آب و نمک‌ها..... ۱۳-۶-۷۱
- ۷۳۹..... ۱۳-۷- سرطان..... ۱۳-۷-۷۱
- ۷۴۱..... ۱۳-۷-۱- ساختار مدل..... ۱۳-۷-۷۱
- ۷۴۳..... ۱۳-۷-۲- تومورهای همگن..... ۱۳-۷-۷۱
- ۷۴۳..... ۱۳-۷-۳- مدل ساده‌شده..... ۱۳-۷-۷۱
- ۷۴۵..... ۱۳-۷-۴- بیولوژی مدل..... ۱۳-۷-۷۱
- ۷۴۷..... ۱۳-۷-۵- تومورهای ناهمگن..... ۱۳-۷-۷۱

۷۴۷	۱۳-۷-۶- نکروز و زوال هم زمان تومور
۷۴۹	۱۳-۷-۷- امکان وجود هم زمان انواع سلول ها
۷۵۱	۱۳-۸- بیماری پارکینسون
۷۵۲	۱۳-۸-۱- پیش زمینه فیزیولوژیکی مسئله
۷۵۳	۱۳-۸-۲- مدل محاسباتی
۷۵۷	۱۳-۸-۳- مدل سازی درمان دارویی
۷۵۹	۱۳-۸-۴- مدل سازی درمان با DBS
۷۶۲	۱۳-۹- خلاصه فصل
۷۶۳	پیوست ۱: تئوری نمونه برداری
۷۶۳	پ ۱-۱- مقدمه
۷۶۳	پ ۱-۱- انواع سیگنال ها
۷۶۵	پ ۱-۳- نمونه برداری و کوانتیزه کردن سیگنال
۷۶۷	پ ۱-۴- مدارهای نمونه بردار و نگهدار
۷۷۰	پ ۱-۵- نمونه برداری ضربه ای و تابع تبدیل مدار نگهدار
۷۷۴	پ ۱-۶- نمونه برداری از دیدگاه فرکانس
۷۸۰	پ ۱-۷- تبدیل Z
۷۸۹	پیوست ۲: مروری بر آمار و احتمال
۷۸۹	پ ۲-۱- مقدمه
۷۸۹	پ ۲-۲- معرفی اصطلاحات
۷۹۱	پ ۲-۳- برخی از خصوصیات احتمال وقوع یک رویداد
۷۹۱	پ ۲-۴- فراوانی نسبی
۷۹۲	پ ۲-۵- احتمال شرطی
۷۹۳	پ ۲-۶- متغیر تصادفی
۷۹۳	پ ۲-۷- تابع توزیع احتمال

- پ ۲-۸- تابع توزیع تجمعی ۷۹۴
- پ ۲-۹- تابع احتمال توأم ۷۹۴
- پ ۲-۱۰- تابع چگالی احتمال پیوسته ۷۹۴
- پ ۲-۱۱- امید ریاضی ۷۹۵
- پ ۲-۱۲- تعریف واریانس ۷۹۵
- پ ۲-۱۳- ارتباط دو متغیر تصادفی (کواریانس) ۷۹۶
- پ ۲-۱۴- ضرب داخلی و خارجی دو بردار تصادفی ۷۹۶
- پ ۲-۱۵- توزیع نرمال ۷۹۷
- پ ۲-۱۶- روش‌های آماری شناسایی سیستم‌ها ۸۰۰
- پ ۲-۱۷- توزیع نمونه‌برداری ۸۰۰
- پ ۲-۱۸- ویژگی‌های میانگین نمونه‌ها ۸۰۱
- پ ۲-۱۹- استاندارد کردن تابع نرمال ۸۰۱
- پ ۲-۲۰- نمونه‌برداری از یک جامعه آماری با تابع نرمال و یا غیر نرمال ۸۰۱
- پ ۲-۲۱- معرفی تخمین ۸۰۲
- پ ۲-۲۲- به دست آوردن فاصله‌ی اطمینان برای پارامتر μ ۸۰۴
- پ ۲-۲۳- پیدا کردن تعداد نمونه‌ها ۸۰۵
- پ ۲-۲۴- تست کردن فرضیه ۸۰۶
- پ ۲-۲۵- انواع تست ۸۰۷
- پ ۲-۲۶- خطاهای تصمیم‌گیری ۸۱۰
- پیوست ۳: فرایندهای تصادفی (اتفاقی) ۸۱۱
- پ ۳-۱- تابع خودهمبستگی ۸۱۱
- پ ۳-۲- تابع خودهمبستگی جزئی ۸۱۳
- پیوست ۴: مدل‌های سیمولینک ۸۱۵

۸۲۳ مراجع

۸۳۱ نمایه

۸۳۷ واژه‌نامه

۸۳۷ واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

۸۳۹ واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

www.ketab.ir