

# مدل سازی ریاضی در گیاهان زراعی

تألیف:  
دکتر افشین سلطانی

چاپ دوم  
۱۴۰۳

سلطانی، افشین

مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی / تألیف: افشین سلطانی، --مشهد؛ جهاد دانشگاهی

مشهد، ۱۳۸۸.

۱۷۶ ص.: مصور، جدول، نمودار. (انتشارات جهاددانشگاهی مشهد؛ ۳۸۰: کشاورزی؛ ۱۲۸)

ISBN: 964-324-188-9

کتابنامه: ص. ۱۶۵-۱۷۵

۱. فرآورده‌های زراعی -- مدل‌سازی -- برنامه‌های کامپیوتری ۲. فرآورده‌های

زراعی -- رشدونمو -- برنامه‌های کامپیوتری. الف. جهاددانشگاهی مشهد. ب. عنوان.

۵۸۱/۳۱

SB۱۱۲ / س ۸۴۸



### انتشارات جهاددانشگاهی مشهد

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه، سازمان مرکزی جهاددانشگاهی خراسان رضوی

ص. پ. ۱۳۷۶-۹۱۷۷۵ دفتر نشر: ۳۱۹۹۷۳۲۱، دفتر توزیع ۳۱۹۹۷۳۲۶

فروش آنلاین کلیه آثار منتشره در: [www.jdmpress.com](http://www.jdmpress.com)

### مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی

تألیف: دکتر افشین سلطانی

لیتوگرافی مشهد اسکتر/ چاپ و صحافی: من چاپ

چاپ دوم/ پاییز ۱۴۰۳ / ۱۰۰ نسخه / شماره نشر ۳۸۰

ISBN: 978-964-324-188-9

شابک ۹۶۴-۳۲۴-۱۸۸۹

کلیه حقوق نشر برای ناشر محفوظ است.

قیمت: ۱.۵۰۰.۰۰۰ ریال

## به نام خداوند جان و خرد

کتاب بزرگترین دستاورد فرهنگی بشر است. دانش بشری مدیون هزاران هزار کتابی است که در طول تاریخ با رنج و تلاش فراوان گرد آمده‌اند. کتاب تداوم معرفت علمی انسان است که سرانجام به تراکم دانش و بروز دگرگونی‌های تمدنی می‌انجامد.

جهاد دانشگاهی مشهد بر این باور است که نخستین گام در راه بهبود ساختارهای اقتصادی-اجتماعی و توسعه کشور، دستیابی به تازه‌های دانش و نشر یافته‌های پژوهشگران است. کتاب حاضر سیصد و هشتادمین اثری است که با همین رویکرد منتشر می‌شود. رهنمودهای خوانندگان فرهیخته می‌تواند ما را در ارتقای سطح کیفی و کمی این آثار یاری نماید.

انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

تقدیم به همسر عزیزم

# فهرست

۹	پیشگفتار و راهنمای استفاده از کتاب
۱۳	فصل ۱. مبانی
۱۳	۱-۱ مقدمه
۱۳	۱-۲ مدل چیست؟
۱۴	۱-۳ واژگان و مفاهیم
۱۵	۱-۴ طبقه‌بندی مدل‌ها
۱۵	۱-۴-۱ شکل‌های مختلف مدل‌ها
۱۵	۱-۴-۲ طبقه‌بندی مدل‌های ریاضی
۱۶	۱-۵ انواع متغیرها در مدل‌ها
۱۷	۱-۶ فرایند مدل‌سازی
۱۷	۱-۶-۱ تعیین اهداف
۱۸	۱-۶-۲ تهیه فرضیات
۱۸	۱-۶-۳ فرمول‌بندی و برنامه‌نویسی
۱۸	۱-۶-۴ برآورد پارامترها
۱۹	۱-۶-۵ ارزیابی مدل
۲۲	۱-۷ زبان‌های کامپیوتری
۲۳	۱-۸ مدل‌های ساده یا پیچیده؟
۲۷	۱-۹ توازن در مدل‌سازی گیاهان زراعی
۲۷	۱-۹-۱ توازن بین اندازه‌گیری و مدل‌سازی
۲۸	۱-۹-۲ توازن بین اجزای مدل
۲۸	۱-۹-۳ توازن بین سادگی و پیچیدگی
۲۹	۱-۱۰ اجزای ضروری در مدل‌های گیاهان زراعی
۳۰	۱-۱۱ تاریخچه مدل‌سازی گیاهان زراعی
۳۰	۱-۱۱-۱ نوزادی
۳۰	۱-۱۱-۲ نوجوانی

۳۱	..... جوانی ۱-۱۱-۳
۳۲	..... پختگی ۱-۱۱-۴
۳۳	..... <b>۱-۱۲ افراد و گروه‌های مهم</b>
۳۳	..... گروه واگنینگن ۱-۱۲-۱
۳۵	..... گروه DSSAT ۱-۱۲-۲
۳۶	..... گروه APSIM ۱-۱۲-۳
۳۷	..... گروه CropSyst ۱-۱۲-۴
۳۷	..... گروه EPIC و ALMANAC ۱-۱۲-۵
۳۸	..... افراد مهم ۱-۱۲-۶
۳۹	..... <b>۱-۱۳ مدل‌سازی گیاهان زراعی، چرا؟</b>
۳۹	..... <b>۱-۱۴ نقش مدل‌سازی گیاهان زراعی در آینده</b>

## فصل ۲. مدل‌سازی نمو فنولوژیک

۴۱	..... <b>۲-۱ مقدمه</b>
۴۱	..... <b>۲-۲ اصول</b>
۴۴	..... <b>۲-۳ روش مبتنی بر دما</b>
۴۴	..... ۲-۳-۱ اهداف و فرضیات
۴۵	..... ۲-۳-۲ فرمول‌های لازم
۴۹	..... ۲-۳-۳ برآورد پارامترها
۵۰	..... ۲-۳-۴ برنامه‌نویسی
۵۰	..... <b>۲-۴ روش مبتنی بر دما و فتوپریود</b>
۵۰	..... ۲-۴-۱ اهداف و فرضیات
۵۳	..... ۲-۴-۲ فرمول‌ها
۵۷	..... ۲-۴-۳ واکنش به بهاره‌سازی
۶۰	..... ۲-۴-۴ برآورد پارامترها
۶۵	..... ۲-۴-۵ برنامه‌نویسی
۶۷	..... <b>۲-۵ نکات تکمیلی</b>
۶۷	..... ۲-۵-۱ دلایل موفقیت روش زمان حرارتی رایج
۶۸	..... ۲-۵-۲ استفاده از زمان حرارتی در شرایطی که گیاه به فتوپریود حساس است
۶۸	..... ۲-۵-۳ انواع تابع دمایی و فتوپریودی
۷۲	..... ۲-۵-۴ استفاده از دمای ساعتی به جای روزانه
۷۳	..... ۲-۵-۵ تأثیر خشکی بر سرعت نمو
۷۳	..... <b>تمرین</b>

### فصل ۳ مدل سازی تغییرات سطح برگ

۷۵	۳-۱ مقدمه.....
۷۵	۳-۲ اصول.....
۷۵	۳-۲-۱ رشد و گسترش سطح برگ.....
۷۷	۳-۲-۲ پیرشدن برگ‌ها و زوال سطح برگ.....
۷۷	۳-۳ روش ساده اول.....
۷۷	۳-۳-۱ اهداف و فرضیات.....
۷۸	۳-۳-۲ فرمول‌ها.....
۸۰	۳-۳-۳ برآورد پارامترها.....
۸۱	۳-۳-۴ برنامه‌نویسی.....
۸۱	۳-۴ روش ساده دوم.....
۸۱	۳-۴-۱ اهداف و فرضیات.....
۸۳	۳-۴-۲ فرمول‌ها.....
۸۷	۳-۴-۳ برآورد پارامترها.....
۸۹	۳-۴-۴ برنامه‌نویسی.....
۹۰	۳-۵ نکات تکمیلی.....
۹۴	تمرین.....

### فصل ۴ مدل سازی تولید و توزیع ماده خشک

۹۵	۴-۱ مقدمه.....
۹۵	۴-۲ اصول.....
۹۵	۴-۲-۱ تولید ماده خشک.....
۹۶	۴-۲-۲ توزیع ماده خشک.....
۹۶	۴-۳ تولید ماده خشک.....
۹۶	۴-۳-۱ اهداف و فرضیات.....
۹۷	۴-۳-۲ فرمول‌ها.....
۱۰۲	۴-۳-۳ برآورد پارامترها.....
۱۰۴	۴-۴ توزیع ماده خشک.....
۱۰۴	۴-۴-۱ اهداف و فرضیات.....
۱۰۵	۴-۴-۲ فرمول‌ها.....
۱۰۸	۴-۴-۳ برآورد پارامترها.....
۱۱۰	۴-۵ برنامه‌نویسی.....
۱۱۱	۴-۶ نکات تکمیلی.....
۱۱۲	تمرین.....

۱۱۳	<b>فصل ۵ مدل‌سازی موازنه آب خاک</b>
۱۱۳	۵-۱ مقدمه
۱۱۳	۵-۲ خاک، مخزنی برای ذخیره آب
۱۱۴	۵-۳ موازنه آب خاک
۱۱۵	۵-۳-۱ رواناب
۱۱۶	۵-۳-۲ آبیاری
۱۱۷	۵-۳-۳ زهکشی عمقی
۱۱۷	۵-۳-۴ شاخص سطح برگ در محاسبه تبخیر تعرق
۱۱۸	۵-۳-۵ تبخیر تعرق بالقوه
۱۱۹	۵-۳-۶ تبخیر از سطح خاک
۱۲۱	۵-۳-۷ تعرق از گیاه
۱۲۱	۵-۴ اثرات تنش خشکی و غرقابی
۱۲۶	۵-۵ ورودی‌ها و پارامترها
۱۲۶	۵-۶ برنامه‌نویسی
۱۲۸	۵-۷ نکات تکمیلی
۱۳۱	تمرین
۱۳۳	<b>فصل ۶ تلفیق زیربرنامه‌ها و تهیه مدل گیاه زراعی</b>
۱۳۳	۶-۱ مقدمه
۱۳۳	۶-۲ تهیه و استفاده از داده‌های هواشناسی
۱۳۴	۶-۳ تخمین تشعشع خورشیدی با کمک تعداد ساعات آفتابی
۱۳۶	۶-۴ تعریف و پیدا کردن تاریخ کاشت
۱۳۷	۶-۵ سایر زیربرنامه‌های کمکی
۱۳۷	۶-۶ برنامه اصلی مدل گیاه زراعی
۱۵۷	<b>فصل ۷ کاربرد مدل‌ها</b>
۱۵۷	۷-۱ مقدمه
۱۵۷	۷-۲ نکات مورد توجه در کاربرد مدل‌ها
۱۵۹	۷-۳ انواع کاربرد مدل‌ها
۱۵۹	۷-۳-۱ کاربرد مدل‌ها در تحقیق
۱۶۳	۷-۳-۲ کاربرد مدل‌ها در مدیریت
۱۶۴	۷-۳-۳ کاربرد مدل‌ها در آموزش
۱۶۴	تمرین
۱۶۵	منابع



## پیشگفتار و راهنمای استفاده از کتاب

خوشحالم که پس از ۱۰ سال تحقیق و تدریس در زمینه مدل‌سازی گیاهان زراعی، کتاب حاضر را تقدیم علاقه‌مندان این رشته می‌نمایم. در تمام این سال‌ها به فکر تهیه چنین کتابی بودم؛ کتابی که حلقه اول از زنجیره آموزش و یادگیری مدل‌سازی گیاهان زراعی باشد. به تصور این جانب جای چنین کتابی به زبان فارسی و حتی به زبان انگلیسی خالی بوده است. گرچه چندین کتاب بسیار خوب از نویسندگان بسیار معتبر درباره مدل‌سازی گیاهان زراعی به زبان فارسی ترجمه شده‌اند (مراجعه شود به قسمت ۱-۱۲-۱)، اما به اعتقاد نگارنده به اندازه کافی ساده نیستند که علاقه‌مندان بتوانند به‌عنوان اولین کتاب و در قدم اول از آن‌ها استفاده نمایند. وجود یک کتاب مقدماتی که به زبان ساده نوشته شده باشد می‌تواند مراجعات به این منابع را نیز افزایش دهد.

در این کتاب نشان داده خواهد شد که چگونه می‌توان فرایندهای مختلف مربوط به نمو، رشد و تشکیل عملکرد گیاهان زراعی و موازنه آب خاک را با بهره‌گیری از معادلات توصیف کرد؛ این معادلات و پارامترهای آن‌ها چگونه به دست می‌آیند و سرانجام اینکه چگونه می‌توان این معادلات را در کنار یکدیگر قرار داد و یک مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی تهیه نمود. این کتاب شامل هفت فصل است. در فصل ۱ به مبانی مدل‌سازی گیاهان زراعی پرداخته شده است که در جای خود بسیار حائز اهمیت است. در فصل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ساده‌ترین روش‌ها برای مدل‌سازی نمو فنولوژیک، تغییرات شاخص سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک ارائه شده است. در فصل ۶ نشان داده شده است که چگونه با تلفیق روش‌های ارائه‌شده در فصل‌های قبل می‌توان یک مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی تهیه کرد. و سرانجام در فصل ۷ درباره کاربردهای مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی توضیح داده شده است.

این کتاب برای درس "مدل‌سازی گیاهان زراعی" در مقاطع تحصیلات تکمیلی رشته زراعت تهیه شده است. اما، سایر دانشجویان، محققان و علاقه‌مندان از رشته‌های خاکشناسی، آبیاری، هواشناسی کشاورزی، مرتع و آبخیزداری، جنگلداری و علوم گیاهی نیز می‌توانند از این کتاب استفاده کنند. در استفاده از این کتاب توجه به نکات زیر ضروری است:

(۱) در این کتاب سعی نشده است کلیه روش‌های موجود یا رایج برای مدل‌سازی فرایندها توضیح داده شوند. همچنین به شرح و توضیح مدل خاصی از مدل‌های موجود شامل APSIM، DSSAT و مدل‌های دانشگاه واگنینگن پرداخته نشده است. بلکه با توجه به سلیقه و درک نگارنده از مدل‌سازی گیاهان زراعی یک یا دو روش ساده برای مدل‌سازی هر فرایند به زبان ساده ارائه شده است. در هر روش سعی شده مبانی تئوریک آن روش، فرمول‌های مربوطه، برنامه‌نویسی روش و نیز پارامترهای موردنیاز و نحوه حصول آن‌ها توضیح داده شوند.

- (۲) در پایان فصل‌های مربوط به مدل‌سازی فرایندها، توضیحات و نکات تکمیلی ارائه شده است که علاقه‌مندان برای تکمیل مطالعات خود و یا روش‌های ارائه‌شده می‌توانند از این نکات استفاده کنند.
- (۳) مدل شبیه‌سازی نهایی که هدف این کتاب می‌باشد می‌تواند رشد و عملکرد گیاه زراعی را تحت شرایط مطلوب زراعت آبی یا دیم پیش‌بینی نماید (سطوح تولید ۱ و ۲، مراجعه شود به قسمت ۱۰-۱ ولی فرض شده است که از نظر سایر شرایط مثل عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز گیاه با محدودیت مواجه نیست.
- (۴) با توجه به اعتقاد و درک نگارنده از مدل‌سازی گیاهان زراعی، هدف تهیه مدلی بوده است که درعین حالی که دارای تمام اجزای ضروری است تا حد امکان ساده باشد. همچنین همه پارامترهای مورد استفاده در مدل دارای تعریف ساده و روشن باشند و در صورت نیاز بتوان با آزمایش و اندازه‌گیری، مقادیر این پارامترها را برآورد کرد. از به‌کارگیری و ارائه روش‌هایی که دارای پارامترهای مبهم و بدون تعریف روشن هستند یا پارامترهایی که روش اندازه‌گیری مشخص ندارند، بلکه برای برآورد آن‌ها باید از کالیبراسیون استفاده شود، خودداری شده است.
- (۵) تلاش شده است مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت مدل‌سازی فرایندهای مختلف برای گیاهان زراعی مهم جمع‌آوری شوند و در جداول در جای مناسب خود ارائه گردند. از آن جایی که این مقادیر مربوط به نقاط مختلف دنیا و مطالعات مختلف هستند، فقط باید از آن‌ها برای اهداف آموزشی و به‌عنوان راهنمای اولیه استفاده نمود. خوانندگان و کاربران این کتاب نباید برآوردهای این پارامترها را دقیق و برای شرایط محیطی خود مناسب فرض نمایند.
- (۶) در فصل‌های مربوط به مدل‌سازی فرایندهای نمو، رشد و تشکیل عملکرد (فصل‌های ۲، ۳ و ۴)، روش‌های مورد نیاز جهت برآورد پارامترها توضیح داده شده‌اند که برای حل تمرین‌های مربوطه در این فصل‌ها می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. جزئیات این روش‌ها برای افرادی که علاقه‌مند هستند با انجام تحقیق به برآورد پارامترها دست پیدا کنند، موضوع دیگری از نگارنده (سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸) است.
- (۷) نام‌گذاری متغیرها در متن کتاب منطبق بر نام‌گذاری متداول ریاضی نیست، بلکه منطبق بر نام متغیرها در برنامه‌نویسی معادلات است. به این ترتیب، خوانندگان راحت‌تر بین معادلات و فرمول‌ها و برنامه کامپیوتری تهیه شده از آن‌ها، ارتباط برقرار خواهند نمود.
- (۸) برنامه‌نویسی جزء جدایی‌ناپذیر مدل‌سازی است. اما، موضوع این کتاب آموزش برنامه‌نویسی نیست. برای یادگیری برنامه‌نویسی خوانندگان باید از منابع موجود (که فراوان هم هستند) استفاده نمایند. برنامه‌های این کتاب به‌زبان QBASIC نوشته شده‌اند که نرم‌افزار مربوطه به‌سادگی و بدون هزینه از طریق اینترنت قابل تهیه می‌باشد. برنامه‌های تهیه‌شده در این کتاب بدون تغییر یا با تغییرات اندک در Visual Basic، Excel و Access و سایر برنامه‌های خانواده BASIC مثل LibertyBasic، FreeBasic و غیره قابل استفاده هستند. یادگیری QBASIC بسیار ساده است و بنابراین خوانندگان/کاربران می‌توانند وقت بیشتری را صرف خود

مدل‌سازی نمایند. به علاوه، یادگیری این زبان مقدمات و آمادگی لازم جهت یادگیری سایر زبان‌ها مثل Fortran و C++ را فراهم می‌سازد. در هر حال، به اعتقاد نگارنده برنامه‌نویسی جزء مهمی در مدل‌سازی گیاهان زراعی نیست، آنچه باید نوشته شود (برنامه‌نویسی شود) حایز اهمیت می‌باشد.

(۹) شاید یادگیری مطالب این کتاب ساده نباشد که دور از انتظار نیست. خوانندگان/کاربران نباید توقع داشته باشند که با مطالعه این کتاب به راحتی همه چیز درباره مدل‌سازی گیاهان زراعی را فراگیرند. به طور معمول مطالعه چندباره، رجوع و مطالعه منابع ارائه‌شده، حل تمرین‌ها و صرف وقت و انرژی جهت درک مطلب و یادگیری موردنیاز خواهد بود که در غیر این صورت نگارنده در تهیه این کتاب بسیار موفق بوده است!

(۱۰) این کتاب با این فرض تهیه شده است که خوانندگان با مفاهیم اساسی فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان زراعی آشنا هستند. دانشجویان سال‌های آخر دوره کارشناسی عمدتاً این اطلاعات را دارند.

(۱۱) نرم‌افزار QBASIC و کلیه برنامه‌های ارائه‌شده در این کتاب با ارسال ایمیل به نگارنده قابل تهیه هستند. همچنین موجب امتنان خواهد بود پیشنهادات و مشکلات در خصوص کتاب به نگارنده منعکس گردد.

(۱۲) در کتاب دیگری از مؤلف (سلطانی و ترابی، ۱۳۸۸) که شامل مطالعات موردی (مجموعه مقالات) است به تفصیل به مدل‌سازی یکی از جنبه‌های نمو، رشد و تشکیل عملکرد پرداخته شده است. همچنین در این کتاب در یک فصل مدل شبیه‌سازی CYFUS که توسط نگارنده تهیه شده است، توضیح داده شده و نیز در سه فصل کاربرد مدل مذکور نشان داده شده است. کتاب مذکور راهنمای عملی خوبی برای افرادی به‌شمار می‌آید که مایل هستند به مدل‌سازی گیاهان زراعی بپردازند.

در پایان لازم می‌دانم از دانشجویان عزیزم که همراهی با آن‌ها در پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشدشان مقدمات اصلی تهیه این کتاب را فراهم آورده و در درک مدل‌سازی گیاهان زراعی به نگارنده کمک نموده است، تشکر نمایم. از آقایان و خانم‌ها حسین حاجی‌زاده، مینا یوسفی‌داز، یونس محمدنژاد، بنیامین ترابی، جعفر پوررضا، علی راحمی‌کارزکی، هوشنگ زارعی، وحید مداح‌یزدی، فاطمه میردوردوست و مهشید نیکوبین سپاسگزارم. همچنین از آقایان بنیامین ترابی و الیاس سلطانی به جهت کمک در تایپ و تنظیم این کتاب کمال تشکر را دارم. سرانجام از استاد فرزانه‌ام دکتر علیرضا کوچکی که راهنمایی‌های ایشان موجب شد نگارنده رشته مدل‌سازی گیاهان زراعی را به‌عنوان زمینه اصلی تحقیقاتی خود انتخاب کند، تشکر می‌نمایم.

افشین سلطانی

پاییز ۱۳۸۷ - گرگان

afsoltani@yahoo.com