بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه صنعتی اصفهان**

دانشکده کشاورزی

# مدل‌سازی خاک- زمین‌نما و پیش بینی تولید گندم دیم به کمک مدل‌های مختلف در مناطقی از زاگرس مرکزی

رساله دکتری

**عبدالمحمد محنت‌کش**

اساتید راهنما

**دکتر شمس‌الله ایوبی**

**دکتر احمد جلالیان**

۱۳۹۱

**دانشگاه صنعتی اصفهان**
دانشکده کشاورزی

رساله دکتری رشته خاک‌شناسی آقای عبدالمحمد محنت‌کش

تحت عنوان

# مدل‌سازی خاک- زمین‌نما و پیش بینی تولید گندم دیم به کمک مدل‌های مختلف در مناطقی از زاگرس مرکزی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

| | |
|---|---|
| ۱ -استاد راهنمای پایان نامه | دکتر شمس الله ایوبی |
| ۲ -استاد راهنمای پایان نامه | دکتر احمد جلالیان |
| ۳ -استاد مشاور پایان نامه | دکتر مهدی قیصری |
| ۴ -استاد مشاور پایان نامه | دکتر امیراحمد دهقانی |
| ۵ -استاد مشاور پایان نامه | دکتر حسین خادمی |
| ۶ -استاد داور | دکتر محمدعلی حاج‌عباسی |
| ۷ -استاد داور | دکتر محمدحسن روزیطلب |
| ۸ -استاد داور | دکتر نورایر تومانیان |
| سرپرست تحصیلات تکمیلی | دکتر محمد مهدی مجیدی |

**تشکر و قدردانی**

سپاس بی‌کران خداوندی را که نعمت آموختن بر بندگان خویش ارزانی داشت. در پایان مرحله-ای دیگر از آموختن بر خود لازم می‌دانم از تمام کسانی که در این مسیر یاری‌گر و مشوق من بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری خود را اعلام نمایم.

از محبت‌های بی دریغ استاد گرامی، جناب آقای **دکتر شمس‌الله ایوبی** که در طول تحصیل این دوره و اجرای این رساله از راهنمایی‌های ایشان بهره‌ها بردم صمیمانه سپاسگزارم. از استاد فرزانه و معلم اخلاق جناب آقای **دکتر احمد جلالیان** به پاس کسب علم از محضر ایشان و راهنمایی در اجرای این رساله بی نهایت سپاسگزارم. از استادان بزرگوار جناب آقای **دکتر مهدی قیصری**، جناب آقای **دکتر امیر احمد دهقانی** و جناب آقای **دکتر حسین خادمی** که از مشاورت با این عزیزان در مراحل مختلف این رساله بهره‌مند بودم صمیمانه سپاسگزارم. از استادان محترم جناب آقای **دکتر محمد علی حاج عباسی**، جناب آقای **دکتر محمد حسن روزیطلب** و جناب آقای **دکتر نورایر تومانیان** که زحمت داوری و ویرایش این رساله را به عهده داشتند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

به روح بلند پدر بزرگوارم که در طول عمر بزرگترین معلم من بود درود می‌فرستم. از همسر بردبار و فرزندان عزیزم که در طول تحصیل بی هیچ توقعی مرا یاری نمودند سپاسگزارم. از مادر مهربان و فداکارم، خواهران و برادرم به پاس همهٔ محبت‌هایشان سپاسگزارم.

از کلیه همکاران عزیز و بزرگوارم در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری که در طول اجرای این پژوهش علی‌الرغم مسائل اداری یاری‌گر اینجانب بودند به ویژه آقایان مهندس فرزان، مهندس صادقی، مهندس لطفی و دکتر صالحی بی‌نهایت سپاسگزارم. همچنین از کلیه دوستان ارجمند دانشگاهی به ویژه سرکار خانم تاجیک و آقایان مجتبی نوروزی، حمزه دوکوهکی و دکتر محسن باقری که در طول این مدت به اینجانب لطف داشتند، سپاسگزاری می‌نمایم.

همراهان این دوره، دوستان گرامی خانم‌ها دکتر اعظم جعفری و دکتر مریم یوسفی فرد و آقای دکتر سعید حجتی را همواره به نیکی یاد خواهم کرد. برای تمام این عزیزان آرزوی سلامتی، شادی و موفقیت دارم.

**عبدالمحمد محنت‌کش**
**اسفند ۱۳۹۱**

**کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،**

**ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این رساله**

**متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.**

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فهرست مطالب ..... هفت

فهرست جداول ..... دوازده

فهرست اشکال ..... چهارده

چکیده ..... ۱

**فصل اول: کلیات** ..... ۲

۱-۱ مقدمه ..... ۲

۱-۲ اهداف کلی تحقیق ..... ۷

۱-۳ معرفی مناطق مورد مطالعه ..... ۸

**فصل دوم: بررسی تأثیر پستی و بلندی و موقعیت شیب بر برخی خصوصیات خاک و محصول گندم دیم** ..... ۱۸

۲-۱ مقدمه ..... ۱۸

۲ ۲ بررسی منابع و مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۲۲

۲-۲-۱ روابط بین توپوگرافی و خصوصیات خاک ..... ۲۲

- روابط بین توپوگرافی و عمق خاک ..... ۲۳

- توپوگرافی و هدر روی عناصر غذایی خاک ..... ۲۵

۲-۲-۲ روابط بین توپوگرافی و عملکرد محصول ..... ۲۶

۲-۳ اهداف ..... ۲۷

۲-۴ مواد و روش‌ها ..... ۲۷

۲-۴-۱ مناطق مورد مطالعه ..... ۲۷

۲-۴-۲ بررسی‌های میدانی و نمونه‌برداری‌ها ..... ۲۷

۲-۴-۳ تهیه مدل رقومی ارتفاع ..... ۲۸

۲-۴-۴ محاسبه و تعیین ویژگی‌های پستی و بلندی ..... ۲۹

۲-۴-۵ نمونه‌گیری محصول و خاک ..... ۳۰

-نمونه‌گیری محصول ..... ۳۰

-نمونه‌گیری خاک ..... ۳۱

۲-۴-۶ تجزیه‌های آزمایشگاهی ..... ۳۱

۲-۴-۷ توصیف کمی داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها ..... ۳۱

۲-۴-۸ تعیین روابط بین عمق خاک و ویژگی‌های توپوگرافی و مدل‌سازی عمق خاک با استفاده از مدل آماری

رگرسیون چند متغیره خطی ..... ۳۱
۲-۵ نتایج و بحث ..... ۳۳
۲-۵-۱ نتایج ویژگی‌های توپوگرافی ..... ۳۳
۲-۵-۲ توصیف آماری خصوصیات خاک ..... ۳۵
۲-۵-۳ بررسی تاثیر توپوگرافی بر خصوصیات خاک ..... ۳۶
- تأثیر توپوگرافی بر توزیع اندازه ذرات خاک ..... ۳۶
- تأثیر توپوگرافی بر نیتروژن کل خاک ..... ۳۷
- تأثیر توپوگرافی بر فسفر قابل جذب خاک ..... ۳۸
- تأثیر توپوگرافی بر پتاسیم قابل جذب خاک ..... ۳۹
- تأثیر توپوگرافی بر ماده آلی خاک ..... ۳۹
- تأثیر توپوگرافی بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ..... ۴۰
- تأثیر توپوگرافی بر pH، EC و سنگریزه خاک ..... ۴۱
- تأثیر توپوگرافی بر عمق خاک ..... ۴۲
- تجزیه و تحلیل همبستگی بین ویژگی‌های توپوگرافی و عمق خاک ..... ۴۵
۲-۵-۴ مدل‌سازی عمق خاک به کمک رگرسیون خطی چند متغیره ..... ۴۹
- اعتبارسنجی مدل MLR برای عمق خاک ..... ۵۰
۲-۵-۵ اثر توپوگرافی بر عملکرد محصول گندم دیم ..... ۵۱
- اثر موقعیت شیب بر عملکرد گندم دیم ..... ۵۲
- اثر موقعیت شیب بر غلظت نیتروژن گیاه در منطقه کوهرنگ ..... ۵۳
- تجزیه و تحلیل همبستگی بین عملکرد گندم و خصوصیات خاک ..... ۵۵
- تجزیه و تحلیل همبستگی بین عملکرد گندم و ویژگی‌های توپوگرافی ..... ۵۶
۲-۶- نتیجه‌گیری ..... ۶۰
**فصل سوم: مدل‌سازی عملکرد گندم دیم با مدل‌های آماری و هوشمند** ..... ۶۲
۳-۱ مقدمه ..... ۶۲
۳-۲ اهداف ..... ۶۵
۳-۳ بررسی منابع ..... ۶۵
۳-۳-۱ روش‌های آماری در روابط خاک و عملکرد گیاه ..... ۶۶
۳-۳-۲ تاریخچه توسعه شبکه‌های عصبی مصنوعی ..... ۷۰
۳-۳-۳ کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی ارزیابی اراضی ..... ۷۲

۳-۳-۴ تئوری ماشین بردار پشتیبان ..... ۷۴
۳-۳-۵ کاربرد ماشین‌های بردار پشتیبان در کشاورزی ..... ۷۷
۳-۴ مواد و روش‌ها ..... ۷۷
۳-۴-۱ مناطق مورد مطالعه ..... ۷۷
۳-۴-۲ جمع‌آوری و آماده سازی داده‌های هواشناسی ..... ۷۹
۳ ۴ ۳ جمع‌آوری و آماده سازی داده‌های مدیریت و نحوه کشت ..... ۷۹
۳ ۴ ۴ بررسی‌های میدانی، نمونه برداری‌ها و اندازه گیری‌ها ..... ۷۹
- نمونه‌برداری‌های محصول گندم ..... ۸۰
- نمونه‌برداری‌های خاک ..... ۸۰
- نمونه‌برداری علف‌های هرز ..... ۸۰
- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های خاک ..... ۸۰
۳ ۴ ۵ تهیه مدل رقومی ارتفاع ..... ۸۱
۳ ۴ ۶ تعیین ویژگی‌های پستی و بلندی ..... ۸۱
۳ ۴ ۷ استاندارد کردن داده‌ها ..... ۸۱
۳ ۴ ۸ توصیف آماری داده‌ها ..... ۸۲
۳ ۴ ۹ توصیف روش‌های مدل‌سازی ..... ۸۲
-مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه ..... ۸۲
-مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی ..... ۸۲
-مدل‌سازی ماشین‌های بردار پشتیبان ..... ۸۵
-پیاده سازی ماشین‌بردار پشتیبان ..... ۸۵
۳ ۴ ۱۰ مقایسه کارایی مدل‌های آماری و هوشمند ..... ۸۶
۳ ۴ ۱۱ تعیین مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی، خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی و عملیات مدیریتی مؤثر در عملکرد گندم از طریق آنالیز حساسیت ..... ۸۷
۳-۵ نتایج و بحث ..... ۸۷
۳-۵-۱ نتایج سناریوی اول ..... ۸۷
- توصیف آماری خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، علف هرز و عملکرد محصول گندم در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۸۷
- نتایج مدل‌سازی عملکرد زیست توده هوایی و دانه گندم توسط مدل‌های آماری و هوشمند در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۹۰

- نتایج مدل‌سازی به کمک رگرسیون خطی چند متغیره (سناریوی اول) ..... ۹۰
- نتایج مدل‌سازی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی (سناریوی اول) ..... ۹۲
- نتایج مدل‌سازی به کمک ماشین‌های بردار پشتیبان (سناریوی اول) ..... ۹۴
- مقایسه بین نتایج مدل‌های ANN، SVM و MLR (سناریوی اول) ..... ۹۶
- نتایج تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در تولید محصول گندم دیم به کمک آنالیز حساسیت ..... ۹۸
- متغیرهای مؤثر در عملکرد دانه گندم ..... ۹۸
- متغیرهای مؤثر در عملکرد زیست توده هوایی گندم ..... ۱۰۲
- نتیجه‌گیری کلی سناریوی اول ..... ۱۰۵

۳ ۵ ۲ نتایج سناریوی دوم ..... ۱۰۶

- نتیجه‌گیری کلی سناریوی دوم ..... ۱۰۸

۳ ۵ ۳ نتایج سناریوی سوم ..... ۱۰۸

- توصیف آماری خصوصیات خاک در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۸
- توصیف آماری ویژگی‌های توپوگرافی در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۹
- توصیف آماری عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم و علف‌های هرز در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۹
- نتایج مدل‌سازی عملکرد دانه و زیست توده هوایی گندم توسط مدل‌های آماری و شبکه عصبی مصنوعی در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۰
- نتایج مدل‌سازی عملکرد دانه گندم دیم به کمک رگرسیون خطی چند متغیره (سناریوی سوم) ..... ۱۱۰
- نتایج مدل‌سازی عملکرد زیست توده هوایی گندم دیم به کمک رگرسیون خطی چند متغیره (سناریوی سوم) ..... ۱۱۳
- نتایج مدل‌سازی عملکرد دانه گندم دیم به کمک شبکه عصبی مصنوعی (سناریوی سوم) ..... ۱۱۴
- نتایج مدل‌سازی عملکرد زیست توده گندم دیم به کمک شبکه عصبی مصنوعی (سناریوی سوم) ..... ۱۱۶
- مقایسه بین نتایج مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی و نتیجه‌گیری سناریوی سوم ..... ۱۱۷

۳-۶ نتیجه‌گیری ..... ۱۲۰

**فصل چهارم: واسنجی، اعتبارسنجی و ارزیابی مدل پویای DSSAT در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم** ..... ۱۲۴

۴ ۱ مقدمه ..... ۱۲۴

۴-۲ معرفی مدل DSSAT ..... ۱۲۵

۴ ۲ ۱ مدول هوا ..... ۱۲۷

۴ ۲ ۲ مدول خاک ..... ۱۲۸
- زیر مدول آب خاک ..... ۱۲۸
- زیر مدول موازنه نیتروژن و کربن خاک ..... ۱۲۹
- زیر مدول دمای خاک ..... ۱۳۰
۴-۲-۳ مدول خاک- گیاه- اتمسفر ..... ۱۳۰
۴-۲-۴ مدول گیاه ..... ۱۳۰
- مدول گیاهی CROPGRO ..... ۱۳۰
- مدول‌های گیاهی Individual crop ..... ۱۳۱
۴ ۲ ۶ مدول مدیریت ..... ۱۳۲
۴-۲-۶ مدول آفات ..... ۱۳۳
۴-۲-۷ محاسبه‌گر GENCALC برای تعیین ضرایب ژنتیکی و واسنجی مدل ..... ۱۳۳
۴ ۲ ۷ برنامه گرافیکی GBuild ..... ۱۳۳
۴-۲-۹ داده‌های مورد نیاز مدل ..... ۱۳۳
۴ ۳ بررسی منابع کاربرد مدل DSSAT در تحقیقات مختلف ..... ۱۳۴
۴ ۴ اهداف ..... ۱۳۸
۴ ۵ مواد و روش‌ها ..... ۱۳۸
۴-۵-۱ واسنجی مدل CERES-Wheat برای گندم دیم رقم سرداری ..... ۱۳۹
- ایجاد پرونده‌های مورد نیاز برای اجرای مدلCERES-Wheat ..... ۱۳۹
۴-۵-۲ اعتبارسنجی مدل CERES-Wheat برای گندم دیم رقم سرداری ..... ۱۴۱
۴-۵-۳ ارزیابی مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم رقم سرداری در اراضی
تپه‌ماهوری ..... ۱۴۲
۴-۶ نتایج و بحث ..... ۱۴۲
۴ ۶ ۲ واسنجی مدل ..... ۱۴۲
۴-۶-۲ ارزیابی مدل ..... ۱۴۴
۴-۷ نتیجه‌گیری ..... ۱۴۹
**فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها** ..... ۱۵۲
۵-۱ نتیجه‌گیری ..... ۱۵۲
۵-۲ پیشنهادها ..... ۱۵۴
**منابع** ..... ۱۵۶

## فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول ۱-۱ رده‌بندی خاک‌های منطقه کوهرنگ در موقعیت‌های مختلف شیب (Soil Taxonomy, 2010)..... ۱۳

جدول ۱-۲ رده‌بندی خاک‌های منطقه اردل در موقعیت‌های مختلف شیب (Soil Taxonomy, 2010) ..... ۱۴

جدول ۱-۳ رده‌بندی خاک‌های منطقه امام قیس در موقعیت‌های مختلف شیب (Soil Taxonomy, 2010) ..... ۱۵

جدول ۱-۴ رده‌بندی خاک‌های منطقه فلارد در موقعیت‌های مختلف شیب (Soil Taxonomy, 2010) ..... ۱۶

جدول ۲-۱ خلاصه نتایج توصیف ویژگی‌های پستی و بلندی در چهار منطقه مورد مطالعه (n=۴۰۶) ..... ۳۴

جدول۲- ۲ خلاصه نتایج توصیف خصوصیات خاک در چهار منطقه مورد مطالعه (n=۴۰۶) ..... ۳۵

جدول ۲-۳ نتایج تجزیه واریانس اثر موقعیت شیب بر خصوصیات خاک در چهار منطقه مورد مطالعه .....۳۶

جدول ۲-۴ ضرایب همبستگی پیرسون بین عمق خاک و ویژگی‌های توپوگرافی در منطقه کوهرنگ (n=۱۰۰) .....۴۸

جدول ۲-۵ خلاصه نتایج توصیف آماری اجزای عملکرد گندم دیم در چهار منطقه مورد بررسی (n=۴۰۶) .....۵۱

جدول ۲-۶ نتایج تجزیه واریانس اثر موقعیت شیب بر عملکرد زیست توده و دانه گندم .....۵۲

جدول ۲-۷ ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد زیست توده و دانه گندم با خصوصیات خاک در مناطق مورد مطالعه (n=۴۰۶).....۵۷

جدول ۲-۸ ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد زیست توده و دانه گندم با ویژگی‌های توپوگرافی در مناطق مورد مطالعه (n=۴۰۶) .....۵۸

جدول ۳-۱ میانگین خصوصیات خاک در دو منطقه کوهرنگ و اردل در دو سال زراعی (۸۸-۱۳۸۷و۸۹-۱۳۸۸) .....۸۸

جدول ۳-۲ خلاصه نتایج توصیف خصوصیات خاک در دو منطقه کوهرنگ و اردل .....۸۹

جدول ۳-۳ خلاصه نتایج توصیف ویژگی‌های توپوگرافی در دو منطقه کوهرنگ و اردل .....۸۹

جدول ۳- ۴ خلاصه نتایج توصیف زیست توده علف‌های هرز در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۸۹

جدول ۳- ۵ خلاصه نتایج توصیف عملکرد دانه و زیست توده گندم در دو منطقه کوهرنگ و اردل .....۹۰

جدول ۳-۶ خلاصه نتایج بهترین ساختار و مناسب‌ترین پارامترهای مدل‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی عملکرد و زیست توده گندم در دو منطقه کوهرنگ و اردل .....۹۳

جدول ۳-۷ مقادیر پارامترهای مدل‌های ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم در دو منطقه کوهرنگ و اردل .....۹۵

جدول ۳-۸ مقایسه شاخص‌های آماری در پیش‌بینی عملکرد و زیست توده گندم توسط سه مدل ANN، SVM و MLR در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۹۷

جدول ۳-۹ مدل‌های رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عملکرد دانه گندم در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۶
جدول ۳-۱۰ مدل‌های رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عملکرد زیست توده هوایی گندم در
چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۷
جدول ۳- ۱۱ خلاصه نتایج توصیفی عملکرد دانه و زیست توده گندم در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۰۹
جدول ۳- ۱۲ خلاصه نتایج توصیف زیست توده علف‌های هرز در چهار منطقه مورد مطالعه .....۱۱۰
جدول ۳-۱۳ نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای عملکرد دانه گندم در
چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۰
جدول ۳-۱۴ نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای عملکرد زیست توده گندم در
چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۳
جدول ۳-۱۵ خلاصه نتایج بهترین ساختار مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی عملکرد دانه گندم برای
چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۵
جدول ۳-۱۶ خلاصه نتایج بهترین ساختار مدل شبکه عصبی در پیش‌بینی عملکرد زیست توده گندم برای
چهار منطقه مورد مطالعه .....۱۱۶
جدول ۳-۱۷ مقایسه شاخص‌های آماری در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم توسط دو مدل ANN و MLR
در چهار منطقه مورد مطالعه.....۱۱۷
جدول ۴-۱ ضرایب ژنتیکی برای گندم رقم سرداری در مقایسه با نتایج گادوین و همکاران (۱۹۸۹) .....۱۴۳
جدول ۴-۲ مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده در برابر مقادیر واقعی شاخص‌های گیاهی گندم رقم سرداری ..... ۱۴۳
جدول ۴-۳ نتایج آماری مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده عملکرد دانه گندم (کیلوگرم در هکتار)
برای موقعیت‌های مختلف شیب ..... ۱۵۰
جدول ۴-۴ نتایج آماری مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده عملکرد زیست توده گندم (کیلوگرم در هکتار)
برای موقعیت های مختلف شیب ..... ۱۵۱

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱-۱ موقعیت مکانی سایت‌های انتخابی در زاگرس مرکزی ..... ۹

شکل ۱- ۲ وضعیت اقلیمی منطقه کوهرنگ ..... ۱۰

شکل ۲-۱ موقعیت هر یک از اجزای شیب بر روی یک شیب تپه ..... ۲۸

شکل ۲-۲ مدل رقومی ارتفاع و نقاط مورد بررسی در چهار منطقه کوهرنگ، اردل، امام قیس و فلارد ..... ۲۹

شکل ۲-۳ نقشه درجه شیب، انحنای سطحی، سطح ویژه حوضه و شاخص رطوبت منطقه کوهرنگ ..... ۳۴

شکل ۲-۴ میزان سیلت در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۳۷

شکل ۲-۵ نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و ماده آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه
در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۳۹

شکل ۲-۶ ظرفیت تبادل کاتیونی در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۴۱

شکل ۲-۷ مقایسه میانگین عمق خاک در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه در منطقه کوهرنگ ..... ۴۳

شکل ۲-۸ مقایسه میانگین عمق خاک در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه در منطقه کوهرنگ ..... ۴۴

شکل ۲-۹ مقادیر مشاهده شده عمق خاک در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیون چند متغیره
در منطقه کوهرنگ ..... ۵۱

شکل ۲-۱۰ عملکرد زیست توده و دانه گندم دیم در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۵۳

شکل ۲-۱۱ غلظت نیتروژن دانه، کاه و زیست توده هوایی در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه در منطقه کوهرنگ..... ۵۴

شکل ۲-۱۲ تغییرات میزان نیتروژن جذب شده توسط زیست توده هوایی گندم در موقعیت‌های مختلف شیب تپه
در منطقه کوهرنگ ..... ۵۵

شکل ۳-۱ روش آموزش ماشین بردار پشتیبان ..... ۷۶

شکل ۳- ۲ موقعیت جغرافیایی و نقشه رقومی ارتفاع دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۷۸

شکل ۳-۳ نمودار مقادیرمشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد دانه (الف) و زیست توده (ب)
گندم با مدل‌های MLR در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۹۱

شکل ۳-۴ نمودار مقادیرمشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد دانه (الف) و زیست توده (ب) گندم
با مدل‌های ANN در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۹۴

شکل ۳-۵ نمودار مقادیرمشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد دانه (الف) و زیست توده (ب) گندم
با مدل‌های SVM در دو منطقه کوهرنگ و اردل ..... ۹۶

شکل ۳-۶ نمودار مقادیر ضریب حساسیت نسبی پارامترهای ورودی در مدل پیش‌بینی عملکرد دانه گندم دیم
در دو منطقه کوهرنگ و اردل..... ۹۹

شکل ۳-۷ نمودار مقادیر ضریب حساسیت نسبی پارامترهای ورودی در مدل پیش‌بینی عملکرد زیست توده هوایی

گندم دیم در دو منطقه کوهرنگ و اردل.....۱۰۴
شکل ۳-۸ مقادیر مشاهده شده عملکرد دانه گندم در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل MLR در چهار منطقه مورد مطالعه.....۱۱۲
شکل ۳-۹ مقادیر عملکرد زیست توده هوایی گندم مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل MLR در چهار منطقه مورد مطالعه .....۱۱۴
شکل ۳-۱۰ مقادیر مشاهده شده عملکرد دانه گندم در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ANN در چهار منطقه مورد مطالعه .....۱۱۵
شکل ۳-۱۱ مقادیر عملکرد زیست توده هوایی گندم مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ANN در چهار منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۷
شکل ۴-۱ نمای شماتیک از بسته نرم‌افزاری DSSAT شامل بانک های اطلاعاتی، مدل‌های گیاهی، نرم‌افزارهای کمکی، ابزارها و کاربردها .....۱۲۷
شکل ۴-۲ نمایش توازن آب در زیرمدول آب خاک بسته نرم افزاری DSSAT .....۱۲۹
شکل ۴-۳ نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد دانه گندم با مدل CERES-Wheat.....۱۴۵
شکل ۴-۴ نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر پیش‌بینی شده عملکرد زیست توده گندم با مدل CERES-Wheat.....۱۴۵
شکل ۴-۵ مقایسه دامنه، میانگین و میانه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد دانه در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه .....۱۴۶
شکل ۴-۶ نمودارهای رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه در موقعیت‌های مختلف شیب‌تپه و در تمام نقاط .....۱۴۷

## چکیده

ارزیابی اراضی شیوه‌ای است که توسط آن می‌توان اراضی را براساس خصوصیات و پتانسیل‌ها و وجود یا عدم وجود محدودیت‌ها به منظور استفاده برای کاربری‌های مختلف طبقه‌بندی نمود. به منظور طبقه بندی اراضی برای استفاده‌های کشاورزی و منابع طبیعی، مهمترین ملاک و فاکتور، تولید یا عملکرد محصول مورد نظر در آن اراضی است. بهترین روش ارزیابی روشی است که بتواند بین مشخصات اراضی که در تولید محصول دخالت دارند، با عملکرد و یا پتانسیل محصول ارتباط برقرار نماید. روش‌های نوین ارزیابی اراضی شامل روش‌های مختلف مدل‌سازی است که در آن با استفاده از تکنیک‌هایی توانایی مدل‌ها در تعیین این ارتباط آزمون می-گردد. این مطالعه با هدف بررسی اثر پستی و بلندی بر خصوصیات خاک و عملکرد محصول گندم دیم و تعیین رابطه بین این خصوصیات و پارامترهای اقلیمی و مدیریت با عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل‌های آماری، هوشمند و پویا و پیش‌بینی عملکرد محصول گندم دیم در چهار منطقه زاگرس مرکزی طراحی گردید. برای این منظور سه مطالعه اجرا گردید. در مطالعه اول تأثیر پستی و بلندی و موقعیت شیب بر خصوصیات مختلف خاک و عملکرد محصول گندم دیم بررسی گردید. نتایج نشان داد که پستی و بلندی بر خصوصیات خاک مؤثر بوده و موقعیت شیب باعث ایجاد تنوع در خصوصیات خاک شده است. مدل‌سازی عمق خاک با استفاده از ویژگی‌های توپوگرافی نشان داد که درجه شیب به عنوان مهم‌ترین پیش‌بینی کننده و بعد از آن شاخص رطوبت، سطح حوضه و شاخص انتقال رسوب به عنوان ویژگی‌های مهم توپوگرافی در پیش‌بینی عمق خاک مؤثر بودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه و زیست توده گندم همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با درصد اشباع و ماده آلی خاک و همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری با درصد شن دارد. همچنین نتایج نشان داد که موقعیت شیب تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم دارد. مناسب‌ترین موقعیت شیب برای تولید محصول گندم دیم موقعیت پنجه شیب و نامناسب‌ترین موقعیت، شانه شیب بود. در مطالعه دوم مدل‌سازی عملکرد دانه و زیست توده هوایی گندم دیم به کمک مدل‌های آماری و هوشمند انجام شد. برای این منظور داده‌های خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، پارامتر اقلیمی بارش هفتگی و پارامتر مدیریتی علف‌های هرز به عنوان ورودی‌ها و عملکرد دانه و زیست توده گندم به عنوان خروجی‌های مدل‌ها در سه سناریو در نظر گرفته شد. نتایج سناریوی اول نشان داد که، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی دقت بهتر و بیش‌تری در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم نسبت به مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و مدل‌های آماری داشته و دارای $R^2$ بیش‌تر و RMSE کم‌تر بودند. براساس نتایج آنالیز حساسیت، مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در عملکرد دانه و زیست توده گندم دیم فاکتورهایی بودند که میزان آب در خاک را کنترل می‌کنند. علاوه بر آن برخی خصوصیات حاصل‌خیزی خاک نظیر نیتروژن کل خاک برای تولید دانه گندم و پتاسیم قابل جذب خاک برای تولید زیست توده هوایی گندم جزء فاکتورهای خیلی مهم شناخته شدند. نتایج سناریوی دوم نشان داد که، به دلیل متفاوت بودن متغیرهای مؤثر در هر مدل، مدل‌های آماری توسعه داده شده در پیش‌بینی عملکرد گندم، فقط برای محدوده هر منطقه کارایی داشته و تعمیم آنها به دیگر مناطق صحیح نیست. نتایج سناریوی سوم نشان داد که، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی هر دو عملکرد دانه و زیست توده هوایی در چهار منطقه مورد مطالعه از توانایی بیش‌تری نسبت به مدل‌های رگرسیون چند متغیره برخوردار بودند. در مطالعه سوم واسنجی، اعتبارسنجی و ارزیابی مدل پویای DSSAT در پیش‌بینی عملکرد گندم دیم انجام شد. برای این منظور ضرائب ژنتیکی گندم رقم سرداری با استفاده از اندازه‌گیری‌های مزرعه آزمایشی تعیین و از این طریق مدل واسنجی شد. با استفاده از داده‌های مزارع آزمایشی دیگر عمل اعتبارسنجی مدل انجام شد و ارزیابی مدل با مقایسه شاخص‌های آماری صورت گرفت. نتایج نشان داد که مدل CERES-Wheat توانایی قابل قبولی در شبیه-سازی مراحل رشد و پیش‌بینی عملکرد دانه گندم در موقعیت‌های پنجه و پای شیب داشته ولی برای تأثیر پستی و بلندی بر عملکرد نیاز به اصلاح بعضی مدول‌ها دارد.



**واژه‌های کلیدی:** مدل‌سازی- موقعیت شیب– مدل‌های آماری– مدل‌های هوشمند– مدل DSSAT– عملکرد گندم– زاگرس مرکزی

# فصل اول
# کلیات

## ۱ ـ ۱ - مقدمه

خاک این موهبت الهی برآیند تعادل بین عوامل تشکیل دهنده آن است. منابع خاک هر کشور ثروت حقیقی آن کشور را تعیین می‌نماید و این ماده ارزشمند خود جزء مهمی از اجزای اراضی است. از این رو شناخت آن بخشی از شناخت منابع اراضی است. با توجه به اسناد تاریخی، انسان از دیرباز اهمیت اختصاص منابع موجود به بهترین کاربری را احساس کرده و در این میان مهم‌ترین منبع در اختیار یعنی زمین و خاک تشکیل شده بر آن، بیشترین توجه برای طبقه بندی و تعیین بهترین کاربری را به خود جلب نموده است. شیوه بهره‌برداری از خاک و اراضی می‌تواند به افزایش و یا کاهش این ثروت الهی منجر گردد. بهره برداری از اراضی بدون شناخت منابع اراضی، پتانسیل‌ها و محدودیت‌های اراضی عاقلانه نیست [۲۳].

ارزیابی اراضی شیوه‌ای است که توسط آن می‌توان اراضی را براساس خصوصیات و پتانسیل‌ها و وجود یا عدم وجود محدودیت‌ها به منظور استفاده برای کاربری‌های مختلف طبقه‌بندی نمود. ارزیابی اراضی عبارت است از برآورد کارایی اراضی برای استفاده‌هایی که از قبل تعیین شده‌اند. در واقع ارزیابی اراضی بر این مفهوم استوار شده است که انواع استفاده دارای نیازهای متفاوتی هستند [۲]. با توجه به تعریف اراضی که شامل خاک، اقلیم، توپوگرافی و پوشش گیاهی است [۲]، بایستی کلیه خصوصیات مربوط به این عوامل را در طبقه‌بندی اراضی دخالت داد. از این رو خصوصیات اقلیمی، خصوصیات

خاک، خصوصیات توپوگرافی و خصوصیات پوشش گیاهی که خود متأثر از اقلیم هستند بایستی در ارزیابی اراضی مد نظر قرار گرفته و تکیه بر خصوصیات خاک یا زمین به تنهایی نتیجه مناسبی در بر نخواهد داشت [۲۳].

روش‌های متعددی برای ارزیابی اراضی وجود دارد که خود سابقه تاریخی و روند تکاملی از شیوه‌های کیفی به شیوه‌های کمی دارند. روش‌های جدید سعی در برقراری ارتباط هر چه دقیق‌تر و صحیح‌تر خصوصیات اراضی با فاکتورهای مورد انتظار از اراضی دارند که بسته به منظور ارزیابی انجام شده، این فاکتورها می‌توانند متنوع باشند. در ارزیابی اراضی به منظور طبقه بندی آنها برای استفاده‌های کشاورزی و منابع طبیعی، مهمترین ملاک و فاکتور، تولید یا عملکرد محصول مورد نظر در آن اراضی است و از این رو بهترین روش ارزیابی همانا روشی است که بتواند بین مشخصات اراضی که در تولید محصول دخالت دارند، با عملکرد و یا پتانسیل محصول ارتباط برقرار نماید. در واقع این روش‌ها می‌توانند عکس العمل اراضی را در قبال تولید محصول ارزیابی نموده و ارتباط بین این دو فاکتور را به طور دقیق و صحیح تعیین نمایند [۲۳].

با پیشرفت علوم روش‌های نوین و از جمله شبیه‌سازی، در روش‌های ارزیابی اراضی به کار گرفته می‌شود تا با استفاده از تکنیک‌هایی توانایی مدل‌ها در تعیین ارتباط ذکر شده آزمون گردد. این مدل‌های شبیه‌ساز به صورت‌های مختلف عمل کرده و انواع مختلف از جمله مدل‌های تجربی، آماری، دینامیکی و هوشمند دارند [۲]. یک مدل، شکل ساده شده‌ای از واقعیت است که بعد از ایجاد آن، می‌توان بدون اندازه‌گیری و آزمایش رفتار یک پدیده را پیش‌بینی کرد [۲].

طبق روش بوما [۵۰] مدل‌های ارزیابی اراضی می‌توانند در سه بعد در نظر گرفته شوند، در بعد محاسبات از سطح کیفی تا کمی، در بعد پیچیدگی توصیف از حالت تجربی تا مکانیزمی و در بعد مقیاس از ناحیه‌ای تا اثرات متقابل ملکولی قابل تقسیم‌بندی هستند. از انواع مدل‌های استفاده شده در ارزیابی اراضی می‌توان به طور کلی از مدل‌های مبتنی بر دانش متخصصین، مدل‌های آماری، مدل‌های شبیه‌سازی پویا و مدل‌های هوشمند نام برد.

در مدل‌سازی یا شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده، دو روش امکان‌پذیر است. روش اول استنباط قوانین یا کمی کردن به شکل ریاضی، مانند مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل، یا کیفی‌تر کردن از طریق تجزیه و تحلیل ساختاری. روش دوم، تجزیه و تحلیل مستقیم روابط موجود در سری‌های زمانی چند متغیره تولید شده توسط خود سیستم است، که نتیجه آن همان روش جعبه سیاه است [۱۷۵]. روش‌های

دیگری که روابط غیر خطی را در نظر می‌گیرند می‌توانند با اندکی آموزش از رابطه موجود، تعیین کننده باشند.

مدل‌های آماری در واقع روش‌های تجربی هستند که با استفاده از خصوصیات اراضی، پیش‌بینی محصول از طریق آنها میسر می‌گردد. هدف کلی از مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه[۱] پیدا کردن رابطه بین چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته است. در این مدل‌ها تولید محصول به صورت تابعی از متغیرهای مستقل یا خصوصیات اراضی آنالیز می‌گردد. به منظور برآورد تولید محصول مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی در سطح وسیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از مزایای این مدل‌ها می‌توان به استفاده این مدل‌ها از مقادیر واقعی خصوصیات اراضی و محصول، افزایش دقت و اعتبار آنها با افزایش تعداد نمونه‌ها، و ورود فاکتورهای مدیریتی همسان با خصوصیات اراضی، اشاره کرد. استفاده از این مدل‌ها به دلیل وجود بعضی مشکلات با محدودیت روبروست. بعضی از این مشکلات عبارتند از: واضح نبودن اثر بعضی خصوصیات اراضی که به طور غیر مستقیم بر تولید اثر دارند، لزوم انتخاب صحیح خصوصیات اراضی که اثر آنها از قبل بر تولید به اثبات رسیده باشد، وجود همبستگی بین برخی متغیرهای ورودی به مدل و اثرات متقابل آنها، عدم ورود فاکتورهای دینامیکی وابسته به زمان به مدل، و مهم‌تر از همه عدم لحاظ رابطه غیر خطی بین خصوصیات اراضی و تولید محصول می‌باشد [۲].

در سال‌های اخیر، شاهد کاربرد روزافزون هوش محاسباتی در حل مسائلی هستیم که یا راه‌حل مشخصی ندارند و یا به راحتی قابل حل نیستند. تاثیر پارامترهای بسیار زیاد در برخی فرایندهای کاملاً فیزیکی و وجود روابط کاملاً غیرخطی میان آنها بر پیچیدگی کار می‌افزاید. مبنای روش‌های هوشمند، استفاده از دانش نهفته در داده‌ها، تلاش برای استخراج روابط دورنی بین آنها و تعمیم آن به موقعیت‌های دیگر است. مهم‌ترین سامانه‌ها شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی[۲] (محاسبات نرونی)، منطق فازی[۳] (استنتاجات تقریبی) و الگوریتم ژنتیک (محاسبات موتاسیونی) می‌باشند [۲۴].

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از پویاترین حوزه‌های تحقیق در دوران معاصر است که افراد متعددی از رشته‌های گوناگون علمی را به خود جلب کرده است. این تکنیک یکی از روش‌هایی است که با توسعه تئوریک سامانه‌های هوشمند که مبتنی بر داده‌های تجربی هستند ایجاد شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام گیری از مدل مغز انسان، ضمن اجرای فرآیند آموزش، اطلاعات مربوط به داده‌ها

---

[۱] -Multiple Linear Regression
[۲] -Artificial Neural Networks
[۳] - Fuzzy Logic

را پردازش و در درون وزن‌های شبکه ذخیره می‌نمایند. با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مناسب و انتخاب صحیح وزن‌ها و توابع فعال ساز می‌توان روابط خطی و عمدتاً غیر خطی حاکم بر پدیده‌ها را شبیه‌سازی نمود [۲۵]. شبکه‌های عصبی می‌توانند رابطه غیر خطی بین ورودی و خروجی سیستم را مدل کنند. یک شبکه عصبی یک مکانیزم محاسباتی است که قادر است در یک فضای چند متغیره از اطلاعات، که به صورت یک مجموعه داده به آن ارائه می‌گردد، کاوش نماید، محاسبه کند و یک نقشه ارائه کند.

آخرین پیشرفت‌ها در آمار، در نظریه یادگیری محاسباتی، در تئوری تعمیم و در یادگیری ماشین، دستورالعمل‌های جدید و درک عمیق از ویژگی‌های عمومی و طبیعت فرآیندهای ایجاد، آموزش و برازندگی مدل‌ها را ارائه کرده است. بسیاری از روش‌های جدید محاسباتی و یادگیری ماشین، ایده برآورد پارامتر را تعمیم می‌دهد. در میان این روش‌های جدید، ماشین‌های بردار پشتیبان[۱] (SVMs) در چند سال گذشته بیشترین توجه را به خود جلب کرده‌اند. SVMs به عنوان یک مجموعه جدید از طبقه-بندی کننده‌های خطی تعمیم یافته نظارت شده برای حل مسائل معرفی شده‌اند و اخیراً در رشته مهندسی کشاورزی و بیولوژی علاقه بیشتری را به خود جلب کرده است [۱۰۴].

ماشین بردار پشتیبان یک روش یادگیری نسبتاً جدید است که اغلب برای طبقه‌بندی دوتائی[۲] مورد استفاده واقع می‌شود. این روش برای اولین بار توسط ولادمیر وپنیک و همکارانش [۲۱۱] مطرح شد. ایده اصلی در طبقه‌بندی، یافتن ابر صفحه‌ای است که داده‌های ورودی متعلق به کلاس‌های متفاوت را در فضای n بعدی از هم مجزا کند. در میان کارهای بسیاری که در این زمینه انجام شده است، ماشین بردار پشتیبان یکی از بهترین روش‌های پیشنهادی است.

ماشین‌های بردار پشتیبان یک گروه از روش‌های یادگیری نظارت شده است که می‌تواند برای طبقه-بندی و یا رگرسیون به کار رود. ماشین بردار پشتیبان با معرفی یک فضای ویژگی منتج از به‌کارگیری توابع کرنل، داده‌های ورودی را به فضای با ابعاد بالاتر برده و قابلیت جداپذیری داده‌هایی که در حالت عادی به صورت خطی جدایی‌پذیر نیستند را افزایش می‌دهد. این کار، یعنی بردن بردارهای ورودی به فضایی دارای ابعاد بالاتر، با افزایش پیچیدگی محاسباتی و شکل هم‌پوشانی همراه است. اما زیرکی خاص ماشین بردار پشتیبان این است که با فضای دارای ابعاد بالاتر جدید، به صورت مستقیم سروکار ندارد

---

[۱] -Support Vector Machine
[۲] -Binary

(فقط فرمول‌های مربوط به ضرب نقطه‌ای بردارها در این فضا مورد نیاز است). این تکنیک به طور موفقیت‌آمیزی در حل مسائل مختلف از جمله تجزیه و تحلیل داده‌ای، طبقه‌بندی، رگرسیون، تخمین‌های سنگین و پیش‌بینی سری‌های زمانی به کار رفته است [۵۸ و ۷۷ و ۱۵۱ و ۱۹۹ و ۲۲۵].

از طرف دیگر، مدل‌های شبیه‌سازی پویا قادر هستند پارامترهای دینامیکی وابسته به زمان را وارد مدل نمایند. این مدل‌ها با استفاده از داده‌های واقعی علاوه بر تعیین ارتباط بین خصوصیات اراضی با میزان تولید محصول و پیش‌بینی تولید محصول، برخی از کیفیت‌های اراضی همچون استرس رطوبتی را برآورد نمایند [۲]. مدل فائو در برآورد تولید پتانسیل، مدل WOFOST و مدل DSSAT[۱] نمونه‌هایی از این مدل‌ها هستند. مدلDSSAT یکی از مدل‌های شبیه‌سازی پویا است که توانایی برآورد بسیاری از کیفیت‌های اراضی را داراست و احتمالاً معروف‌ترین و شناخته شده‌ترین مدلی است که در سیستم‌های تولید محصولات زراعی استفاده می‌شود [۲].

هدف از طراحی اولیه DSSAT تکمیل دانش در ارتباط با خاک، اقلیم، گیاهان و مدیریت برای تصمیم‌گیری بهتر و انتقال تکنولوژی تولید از نقطه‌ای به نقاط دیگر با شرایط مختلف خاک و اقلیم بود[۱۰۹]. مدل گیاهی DSSAT به‌طور گسترده در ۲۰ سال گذشته بوسیله بسیاری از محققان برای کاربردهای مختلف به کار برده شده است. بسیاری از این کاربردها بر روی گزینه‌های مدیریتی شامل کوددهی، آبیاری و مدیریت آفت انجام شده است. در این کاربردها دقت تجزیه و تحلیل مدل با انجام تحقیقات مزرعه‌ای و اطلاعات اقتصادی اجتماعی برای پاسخ به سوال‌های پیچیده در خصوص تولید، اقتصاد و محیط زیست بررسی گردید. جنبه مهم بسیاری از این مطالعات تشخیص اثر آب و هوا بر عملکرد گیاه، اثر متقابل و پیچیده خاک و مدیریت می‌باشد. محققان بسیاری از کشورها این مدل را برای مطالعه اثر تغییرات اقلیم بر روی تولیدات کشاورزی به کار بردند [۱۷۶]. این مدل همچنین در سطح وسیعی برای پیش‌بینی اقلیم، بهبود مدیریت در سیستم‌های گیاهی مختلف و کاهش مقدار ریسک در مطالعات استفاده می‌شود.

باتوجه به اهمیت گندم به عنوان یکی از غلات مهم در تأمین غذای انسان در سطح جهان و به ویژه در ایران، و از طرفی کشت دیم این محصول در بسیاری از کشورها در مناطق نیمه خشک وگسترش کشت دیم آن در اراضی کوهستانی زاگرس ایران، مطالعه روابط بین خصوصیات خاک و ویژگی‌های

---

[۱] -Decision Support System for Agrotechnology Transfer