

## اثر تلفیق مدیریت آبیاری و تاریخ کشت بر کارایی مصرف آب ذرت با استفاده از

### مدل DSSAT

مهدی کلانکی<sup>۱\*</sup>، فاطمه کاراندیش و سید فرهاد صابرعلی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

Kalanaki\_mahdi@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

Karandish\_h@yahoo.com

استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی مجتمع آموزش عالی تربت جام.

Sf.saberali@yahoo.com

### چکیده

در این پژوهش، پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی DSSAT-CERES Maize، تاثیر توامان تغییر تقویم کشت و عمق آب آبیاری بر کارایی مصرف آب گیاه ذرت در چهار ایستگاه قراخیل، بابلسر، رامسر و نوشهر از استان مازندران تحلیل شد. بدین منظور، ابتدا مدل بر اساس داده‌های بدست آمده از کشت دوساله‌ی ذرت در یک تقویم کشت در شهرستان ساری، تحت سه تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری در دو سطح ۵۵ و ۷۵ درصد، طی فصول زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس، توابع آب-محصول برای تاریخ‌های کشت منتخب در حداصل ۲۱ فروردین تا ۸ تیر برای چهار شهرستان منتخب تعیین شد. پس از آن، عمق بهینه‌ی آبیاری با هدف جلوگیری از کاهش معنی‌دار عملکرد محصول به دست آمد. بر اساس شاخص‌های ارزیابی منتخب، مدل از دقت کافی در شبیه‌سازی پارامترهای شاخص سطح برگ، تاریخ‌های مورفولوژیکی مهم، ماده خشک کل، عملکرد دانه ذرت و کل جذب نیتروژن به وسیله‌ی گیاه برخوردار بود. به استثنای شهرستان قراخیل و صرف‌نظر از نوع تیمار آبیاری، تعویق کشت، با کاهش طول دوره‌ی رشد گیاه، عمق بهینه‌ی آبیاری را ۱۴ تا ۷۵ درصد کاهش می‌دهد. بر مبنای میانگین ۳۰ ساله‌ی داده‌های هواشناسی، کم‌ترین عمق بهینه‌ی آبیاری در شهرستان‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب ۳۶۶، ۲۰۰ و ۱۲۲ میلی‌متر بوده که به ترتیب، تحت تاریخ‌های کشت ۱۹ خرداد، ۸ تیر و ۸ تیر بدست می‌آید. این در حالی است که اختلاف بین عمق بهینه‌ی آبیاری بین تیمارهای کم-آبیاری با آبیاری کامل در کشت‌های زود هنگام بیش‌تر بود. بر اساس نتایج، مدیریت عمق آب آبیاری و تعدیل تاریخ کشت منتج به ۱/۶ تا ۲۲/۸ درصد صرفه‌جویی در آب مصرفی در کشت ذرت در استان مازندران خواهد شد. با این وجود، راستی‌آزمایی نتایج این پژوهش، مستلزم انجام پژوهش‌های مزرعه‌ای دیگر در شهرستان‌های منتخب و تحت تاریخ‌های کشت پیشنهادی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تقویم کشت، مدل DSSAT-CERES-Maize، عمق بهینه آبیاری، تابع آب-محصول.

<sup>۱</sup> - آدرس نویسنده مسئول: زابل، گروه مهندسی آب دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل.

\* - وصول: فروردین ۱۳۹۶ و تصویب: دی ۱۳۹۶

## مقدمه

تنش آبی یکی از تهدیدهای اساسی امنیت غذایی کشور محسوب می‌شود، زیرا در سالیان اخیر منابع آب شیرین کشور به شدت کاهش داشته و میزان تبخیر-تعرق، به علت بروز پدیده تغییر اقلیم رشدی صعودی داشته است (شیروانیان و همکاران، ۱۳۹۳). در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های کارآمد برای مصرف بهینه آب با حفظ بهره‌وری مصرف و از طرف دیگر تولید غذای مناسب راهکاری برای سازگاری با بحران کمبود آب خواهد بود. در این راستا، استفاده از تکنیک‌های کم‌آبیاری در کشاورزی آبی به عنوان یک روش فنی و اقتصادی برای سامان بخشیدن به میزان آب مصرفی و عملکرد تولیدی در بسیاری از محصولات زراعی به ویژه در مناطق کم‌آب رایج شده است (اصغری و تقی‌پور، ۲۰۰۴). تاکید اساسی این روش، بر آن است که در صورت محدودیت منابع آب، سطح بهینه اقتصادی عمق آب آبیاری می‌تواند کمتر از مقدار واقعی مورد نیاز گیاه برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری باشد (دومینگوئز و همکاران، ۲۰۱۳).

در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است، عملکرد محصولات گوناگون می‌تواند در اثر مدیریت‌های نادرست روش‌های کم‌آبیاری، کاهش معنی‌داری یابند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۴) که بدین منظور لزوم اتخاذ تدابیری در راستای کاهش اثرات منفی این روش، بر امنیت غذایی مشهود است. مطالعات گذشته کاهش بین ۱۰ تا ۷۶ درصدی را در عملکرد گیاه ذرت، تحت تاثیر کم‌آبیاری، متناسب با شدت تنش و حساسیت مرحله رشد نشان می‌دهند (دومینگوئز و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاریدیز و همکاران، ۲۰۱۴) از طرف دیگر، علاوه بر مدیریت آب مصرفی، تنظیم تاریخ کشت نیز می‌تواند میزان مصرف آب و ماده‌ی خشک تولیدی را متاثر سازد (سولر و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین نتایج پژوهشی روی گیاه ذرت نشان می‌دهد که تاخیر در تاریخ کشت از ۲۴ نوامبر به ۲۲ دسامبر میزان عملکرد را از ۱۰/۷ به ۷/۶ تن بر هکتار می‌کاهد (چیسانگا و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین تغییر تقویم کشت

و روی آوردن به کشت مدرن در نواحی غربی آفریقا توانسته است میزان محصول ذرت را از ۱/۵-۰/۸ تن بر هکتار به ۲-۳ تن بر هکتار افزایش دهد (یگمبی و همکاران، ۲۰۱۴). هر چند انجام چنین پژوهش‌های صحرایی نقش موثری در اتخاذ تصمیمات منطقه‌ای برای دستیابی به کشاورزی پایدار خواهند داشت، لکن زمان‌بر بودن هزینه‌های تحقیقات میدانی و عدم امکان بررسی تمام سناریوهای موجود، وابستگی مکانی و زمانی نتایج حاصل از آن، تصمیم‌گیری‌های همه‌جانبه و کارآمد بر اساس این پژوهش‌ها را با چالش مواجه نموده است. در چنین شرایطی، مدل‌سازی گیاهی یکی از سیستم‌های قوی و پشتیبان تصمیم‌گیری محسوب شده و به همین دلیل، در سال‌های اخیر، توجه محققان بسیاری را به خود معطوف داشته است (هونگبوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ جونز و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از مدل‌های توانا در این زمینه، مدل گیاهی DSSAT است که به دلیل دقت، کارآمد بودن، نیاز به داده‌های ورودی کم، قابلیت شبیه‌سازی مراحل مختلف رشد گیاهان متعدد، امکان بررسی بیلان آب و برآورد نیاز غذایی در شرایط منطقه‌ای و مدیریتی خاص، به طور گسترده در سطح جهان استفاده شده است (هونگبوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ جونز و همکاران، ۲۰۰۳). مدل DSSAT برای اولین بار در سال ۱۹۸۹ ارائه شد (جونز و همکاران، ۲۰۰۳) و هم‌اکنون رشد و عملکرد بیش از ۴۲ گیاه را شبیه‌سازی کرده و در پژوهش‌های بسیاری همچون مدیریت‌های کودی و آبی مدیریت تاریخ کشت، تناوب زراعی، تاثیر آب و هوا و تغییر اقلیم در بیش از ۱۰۰ کشور جهان استفاده شده است (هونگبوم و همکاران، ۲۰۱۵).

نتایج واسنجی و ارزیابی مدل CSM-CERES-Maize در منطقه ورامین (ربیع و همکاران، ۱۳۹۲) و در منطقه مشهد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۲) نشان داد که این مدل توانایی مطلوبی در شبیه‌سازی عملکرد ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ دارد. همچنین DSSAT دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی از زیر

لومرسی بود. ویژگی‌های فیزیکی خاک محل آزمایش مطابق جدول ۱ است. تیمارهای آبیاری مدنظر این پژوهش شامل آبیاری کامل (FI) به صورت آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و کم‌آبیاری معمولی در دو سطح ۵۵ (DI55) و ۷۵ درصد (DI75) بوده است. همچنین روش آبیاری قطره‌ای سطحی بوده و آبیاری به صورت یک روز در میان با هدف رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی صورت می‌گرفت. اطلاعات جامعی از نحوه انجام این پژوهش را می‌توان در نتایج پژوهش کاراندیش و همکاران (۱۳۹۲) یافت.

### مدل‌سازی گیاهی

به منظور شبیه‌سازی فرآیند رشد گیاه ذرت با مدل DSSAT، ابتدا مدل بر اساس داده‌های هواشناسی، خاک و مدیریت زراعی در فصل کاشت ۱۳۹۰ برای هر سه تیمار FI، DI75 و DI55 واسنجی شد. بدین منظور، ضرایب گیاهی تا دستیابی به بیش‌ترین انطباق بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده‌ی پارامترهای گیاهی با هدف حداقل نمودن خطای شبیه‌سازی براساس معیارهای ارزیابی تغییر داده شد. این ضرایب شامل ضریب P1 (درجه روز رشد (GDD) لازم از مرحله جوانه‌زنی تا مرحله جوانی)، ضریب P2 (ضریبی برای بیان اثر مدت روشنایی، میزان تاخیر در رشد ذرت در صورت عدم تامین طول روز مطلوب که با قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاه‌تر از فتوپریود مطلوب اتفاق می‌افتد)، ضریب P5 (مقدار GDD لازم از زمان ابریشمی شدن تا رسیدن فیزیولوژیک)، ضریب G2 (معرف حداکثر تعداد دانه در هر گیاه)، ضریب G3 (بیانگر سرعت رشد دانه در مرحله پرشدن دانه) و ضریب PHINT (مقدار GDD مورد نیاز برای ظاهر شدن یک برگ جدید) بودند (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). براین اساس و با بهره‌گیری از روش ارائه شده توسط محققان پیشین (چیسانگا و همکاران، ۲۰۱۵؛ سولر و همکاران، ۲۰۰۷)، جهت واسنجی ابتدا انطباق بین داده‌های مشاهده-

عمق توسعه ریشه ذرت در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی داشته است (ربیع و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر این ترکیب مدل‌های DSSAT و DRAINMOD در شبیه‌سازی جریان زهکشی (نجم و همکاران، ۲۰۱۴) بهره‌گیری از مدل DSSAT در سیستم تصمیم‌گیری کشاورزی حفاظتی (نجویرا و همکاران، ۲۰۱۴) بررسی عدم قطعیت تغییر اقلیم در پیش‌بینی عملکرد ذرت در کشور پاناما با استفاده از مدل DSSAT (روآن و همکاران، ۲۰۱۳) از جمله تحقیقات انجام گرفته با این مدل بر روی گیاه ذرت است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در زمینه بهره‌گیری از مدل DSSAT برای تعیین سطح بهینه‌ی آبیاری تحت اثرات تلفیقی تاریخ کاشت و استراتژی کم‌آبیاری تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. به همین منظور در پژوهش حاضر، ضمن واسنجی<sup>۱</sup> و صحت‌سنجی<sup>۲</sup> مدل مذکور با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای کشت دو ساله‌ی ذرت تحت آبیاری کامل و کم‌آبیاری و استخراج توابع آب-محصول در شرایط مدیریتی مختلف، به تحلیل تاثیر تغییر تاریخ کاشت و عمق آب آبیاری بر میزان کارایی مصرف آب گیاه در شرایط اقلیمی مرطوب پرداخته شد.

### مواد و روش‌ها

#### جمع‌آوری داده‌های مزرعه‌ای

اطلاعات مزرعه‌ای مورد نیاز این پژوهش، از یک آزمایش مزرعه‌ای انجام گرفته بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استخراج شد. شرایط آب و هوایی محل آزمایش براساس طبقه‌بندی اقلیمی در سیستم دومارتن، مرطوب با متوسط بارندگی سالانه ۷۰۰ میلی‌متر می‌باشد. بافت غالب در لایه سطحی لوم-رسی‌شنی و در محدوده‌ی ۱۰۰-۲۰ سانتی‌متری

<sup>1</sup> Calibration

<sup>2</sup> Validation

ای و شبیه‌سازی شده برای پدیده‌های فنولوژیک همچون تاریخ گل دهی و سپس برای داده‌های معرف رشد رویشی گیاه مانند شاخص سطح برگ، ماده خشک سنجیده شد؛ و در نهایت برای رسیدن به بیش‌ترین انطباق بین عملکرد دانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، واسنجی انجام شد. پس از واسنجی مدل، اعتبار ضرایب گیاهی حاصله بر اساس اجرای مدل با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در فصل زراعی ۱۳۸۹ صحت‌سنجی شد. پس از آن، مدل برای تحلیل سناریوهای مدیریتی استفاده گردید.

### سناریوهای مدیریتی

گیاه ذرت از جمله مهم‌ترین گیاهان زراعی در سطح جهان است، بعد از گندم و برنج سومین محصول موثر در تغذیه مستقیم انسان است. علاوه بر آن مولفه‌ی اصلی در تغذیه دام، روغن گیاهی، شربت شکر، الکلی به عنوان سوخت زیستی و ماده خام برای تولیدات

کارخانه‌های پلاستیک از دیگر مصارف گیاه ذرت است (ستیدوتو و همکاران، ۲۰۱۲). استان مازندران یکی از قطب‌های تولید ذرت در کشور بوده به گونه‌ای که مساحت اختصاص یافته به کشت آبی و دیم آن در مجموع ۸۹۸ هکتار می‌باشد. به منظور بررسی وضعیت آب مصرفی کشت ذرت در استان مازندران، با فرض شرایط مزرعه‌ای یکسان، تاثیر تنوع خرد اقلیم‌های حاکم بر این استان نیز در تحلیل سناریوهای منتخب در نظر گرفته شد. در این راستا، علاوه بر ایستگاه هواشناسی در محل پژوهش، چهار ایستگاه سینوپتیک شامل ایستگاه‌های بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر انتخاب شد. میانگین بلند مدت مولفه‌های هواشناسی در این ایستگاه‌ها در جدول ۲ ارائه شد. جهت یکسان‌سازی و افزایش اعتبار نتایج شبیه سازی، از میانگین مولفه‌های هواشناسی در بازه‌ی زمانی ۱۳۶۰-۱۳۸۹ برای ایجاد فایل‌های هواشناسی مدل استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه ساری

محدوده عمقی (cm)	بافت	ظرفیت زراعی (%) (جمعی)	نقطه پژمردگی (%) (جمعی)	چگالی ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )
۰-۲۰	لوم رسی شنی	۳۰	۱۵	۱/۴
۲۰-۴۰	لومی رسی	۳۲	۱۴	۱/۳۸
۴۰-۶۰	لومی رسی	۳۲	۱۴	۱/۳۵
۶۰-۸۰	لومی رسی	۳۲	۱۴	۱/۳۷

جدول ۲- موقعیت مکانی و میانگین ۳۰ ساله برخی پارامترها هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض شمالی (درجه)	طول شرقی (درجه)	ارتفاع (m)	بارندگی سالانه (mm)	دمای حداقل (°C)	دمای حداکثر (°C)	میانگین مجموع تبخیر- تعرق سالانه (mm)
بابلسر	۳۶/۴۳	۵۲/۳۹	-۲۱	۹۱۶/۷۲	۱۳/۸۴	۲۱/۲۵	۹۶۰/۴
رامسر	۳۶/۵۴	۵۰/۴	-۲۰	۱۱۶۴/۸۹	۱۳/۱۷	۱۹/۴۹	۸۴۶/۶
قراخیل	۳۶/۲۷	۵۲/۴۶	۱۴/۷	۷۱۵/۸۶	۱۲/۵۱	۲۱/۵۵	۹۲۵/۳
نوشهر	۳۶/۳۹	۵۱/۳	-۲۰/۹	۱۲۴۳/۰۱	۱۲/۸۹	۱۹/۷۲	۸۶۸/۸

بازه‌ی مناسب برای کشت ذرت در هر منطقه، با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه و بر اساس دماهای بحرانی ۱۰ و ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای رشد مطلوب گیاه ذرت (مک‌مستر و ویلهلم، ۱۹۹۷) تعیین شد. بر این اساس، حدهای فصل روزهای ۱۲ فروردین-۲۰ خرداد، ۲ فروردین-۶ خرداد، ۱۹ فروردین-۱۰ خرداد و ۲۰ فروردین-۱۵ تیر برای کشت ذرت به ترتیب در مناطق

بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر مناسب بودند. لذا، تاریخ‌های کشتی که در مدل تعریف شد به ترتیب روزهای ۱۰۰ (۲۱ فروردین)، ۱۱۰ (۳۱ فروردین)، ۱۲۰ (۱۰ اردیبهشت)، ۱۳۰ (۲۰ اردیبهشت)، ۱۴۰ (۳۰ اردیبهشت)، ۱۵۰ (۹ خرداد)، ۱۶۰ (۱۹ خرداد)، ۱۷۰ (۲۹ خرداد) و ۱۸۰ (۸ تیر) از ابتدای سال میلادی برای کشت ذرت در رامسر و نوشهر، روزهای ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰،

۱۴۰، ۱۵۰ و ۱۶۰ برای بابلسر و روزهای ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ برای قراخیل بود. همچنین، برای هر یک از این تاریخ‌ها، مدل واسنجی و صحت‌سنجی شده‌ی DSSAT به ازای آبیاری کامل (آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی) و کم‌آبیاری در حدفاصل سطوح ۵۵ تا ۹۵ درصد (درصد عمق آبیاری نسبت به آبیاری کامل) با گام‌های پنج درصد اجرا شد. در نهایت، پس از استخراج توابع آب-محصول بر اساس نتایج مدل، سطح بهینه‌ی آبیاری با هدف حداکثر نمودن کارایی مصرف آب در هر منطقه بدست آمد.

### آنالیز آماری و معیارهای ارزیابی

جهت ارزیابی دقت شبیه‌سازی‌های انجام گرفته توسط مدل از پارامترهای جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده<sup>۱</sup>، جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> و ضریب تبیین<sup>۳</sup> و شاخص توافق ویلموت<sup>۴</sup> استفاده شد (سولر و همکاران، ۲۰۰۷).

### نتایج و بحث

#### ارزیابی مدل DSSAT

واسنجی مدل، بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در سال ۱۳۹۰ صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است همچنین ضرایب ژنتیکی بهینه برای P1، P2، P5، G2، G3 و PHINT به ترتیب برابر با ۱۹۶/۱، ۰/۵۴۹، ۷۲۷/۵، ۴۷۶/۹، ۱۴/۲۵ و ۵۸/۷۵ بدست آمد. جدول ۴ نتایج صحت‌سنجی مدل بر اساس این ضرایب را نشان می‌دهد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار NRMSE برای پارامترهای عملکرد گیاه (۹/۵۹ درصد) و تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی (۱/۰۸۷ درصد) مشاهده شد.

همچنین ضریب تبیین بین ۰/۸۶ (عملکرد گیاه) تا ۰/۹۹۸ (وزن خشک اندام هوایی) و شاخص توافق ویلموت بین ۰/۸۱ (حداکثر شاخص سطح برگ) تا ۱ (تاریخ گرده افشانی و رسیدگی) بود. این مقادیر، دقت قابل قبول مدل در فرآیند شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. ربیع و همکاران (۱۳۹۱) مقدار آماره‌های RMSE و R<sup>2</sup> در مرحله صحت سنجی را به ترتیب ۰/۴۹ مترمربع بر مترمربع و ۰/۴۴ برای حداکثر شاخص سطح برگ و برای وزن خشک اندام هوایی در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی این مقادیر را ۱۳۱۳ کیلوگرم در هکتار و ۰/۸۴ گزارش نمودند.

طی پژوهشی در کشور برزیل ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای شاخص سطح برگ برای چهار تیمار مختلف گیاه ذرت تحت شرایط آبیاری بین ۱۰/۴ درصد تا ۲۴/۲ درصد و برای شرایط دیم بین ۱۰ تا ۲۴/۴ درصد بدست آمد و شاخص توافق ویلموت در مزرعه تحت آبیاری بین ۰/۹۶ تا ۰/۹۹ و در مزرعه دیم بین ۰/۹۵ تا ۰/۹۹ گزارش شد (سولر و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین نتایج پژوهش‌های دیگر روی گیاه ذرت، حاکی از دقت قابل قبول مدل DSSAT در شبیه‌سازی مولفه‌های رشد در مناطق مختلف بوده است (چیسائگا و همکاران، ۲۰۱۵).

#### تغییر عملکرد در سناریوهای مدیریتی

شکل (۱) عملکرد و مجموع بارش طی فصل رشد را در مناطق مختلف، تیمارهای آبیاری و تاریخ‌های کشت نمایش می‌دهد. محدوده تغییرات عملکرد گیاه در حدفاصل تنش‌های رطوبتی صفر (آبیاری کامل) تا ۴۵ درصد (DI55) در مناطق بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر به ترتیب ۳۳۴۳-۸۰۶۶، ۴۴۷۸-۷۸۲۷، ۷۹۶۴-۳۶۸۵ و ۴۰۶۰-۸۴۰۱ تن برهکتار بوده که این مقادیر به ترتیب در تاریخ‌های کشت ۱۳۰ (۲۰ اردیبهشت) و ۱۵۰ (۹ خرداد)، ۱۴۰ (۳۰ اردیبهشت) و ۱۸۰ (۸ تیر)، ۱۱۰ (۳۱ فروردین) و ۱۴۰، ۱۱۰ و ۱۸۰ میلادی مشاهده شد. در ایستگاه بابلسر به جز تاریخ‌های کشت ۱۰۰ (۲۱

<sup>1</sup> Normalized root mean square error (NRMSE)

<sup>2</sup> Root Mean Square Error (RMSE)

<sup>3</sup> Coefficient of Determination

<sup>4</sup> The Index of Agreement proposed by Willmott (d)

فروردین) و ۱۵۰، در بقیه تاریخ‌های کشت، عملکرد گیاه در تیمارهای ۹۵ تا ۸۵ درصد نسبت به آبیاری کامل تغییری نداشت. یکی از دلایل این امر می‌تواند مقادیر بالاتر بارش موثر و جبران کمبود آب آبیاری تحت تنش ملایم در مرحله‌ی رشد زایشی باشد. نتایج مشابهی نیز در دیگر مناطق بدست آمد. حساسیت بالای عملکرد گیاه ذرت به تنش در این مرحله (فاری و فیسی، ۲۰۰۶) و همچنین تاثیر مثبت نحوه‌ی توزیع مناسب بارش در طول فصل رشد و ذخیره‌ی آن در محدوده‌ی توسعه‌ی ریشه در دوران رشد زایشی بر عملکرد گیاه (فانگ و همکاران، ۲۰۱۴) در پژوهش‌های پیشین نیز به اثبات رسیده است. با این وجود، شکل ۱ نشان می‌دهد که در برخی موارد تعویق کشت و یا افزایش شدت تنش می‌تواند تا حد زیادی از این تاثیر مثبت کاسته و باعث کاهش معنی‌دار عملکرد گیاه در روزهای ۱۵۰ ام، ۱۶۰ ام (۱۹ خرداد)، ۱۴۰ ام و ۱۶۰ ام میلادی در مناطق بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر می‌تواند در حد قابل توجهی از میزان عملکرد در تیمارهای تنش در مقایسه با تیمار آبیاری کامل بکاهد.

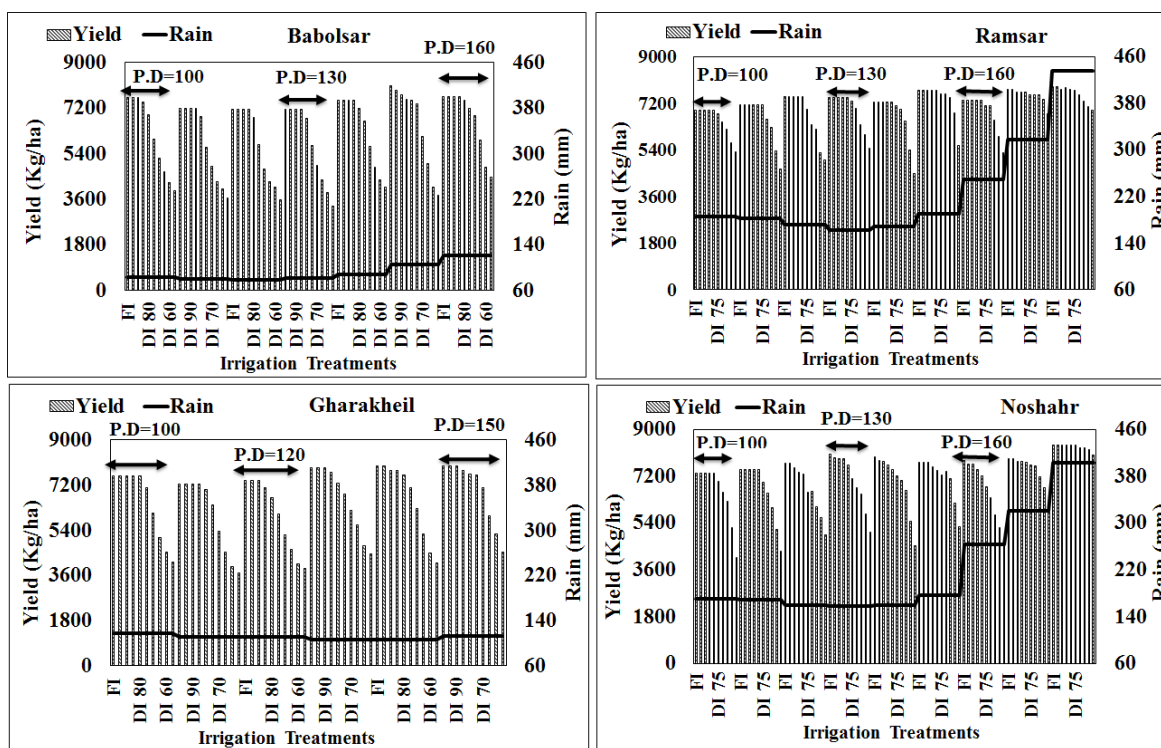
جدول ۳- مقادیر پارامترهای گیاهی منتخب و معیارهای ارزیابی در تیمارهای مختلف در مرحله واسنجی در منطقه ساری

شاخص گیاهی*	مشاهده شده			شبیه‌سازی شده			پارامترهای آماری			
	FI	DI 75%	DI 55%	FI	DI 75%	DI 55%	RMSE	(%) NRMSE	d	R <sup>2</sup>
LAIX	۳/۷	۳	۲/۸	۳/۶	۳/۳	۳	۰/۲۲	۶/۸	۰/۹	۰/۹۱
TW (Kg/ha)	۱۶۰۰۰	۱۴۵۰۰	۱۳۲۰۰	۱۴۸۸۰	۱۳۰۲۳	۱۲۳۹۹	۱۱۶۵/۸۴	۸	۰/۹۹۸	۰/۹۴
Yield (Kg/ha)	۶۶۰۰	۵۳۰۰	۴۹۰۰	۶۷۴۰	۵۴۲۱	۵۰۲۱	۱۲۷/۶۵	۲/۲۸	۱	۱
An. D	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۰	۰	۱	-
M. D	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۰	۰	۱	-

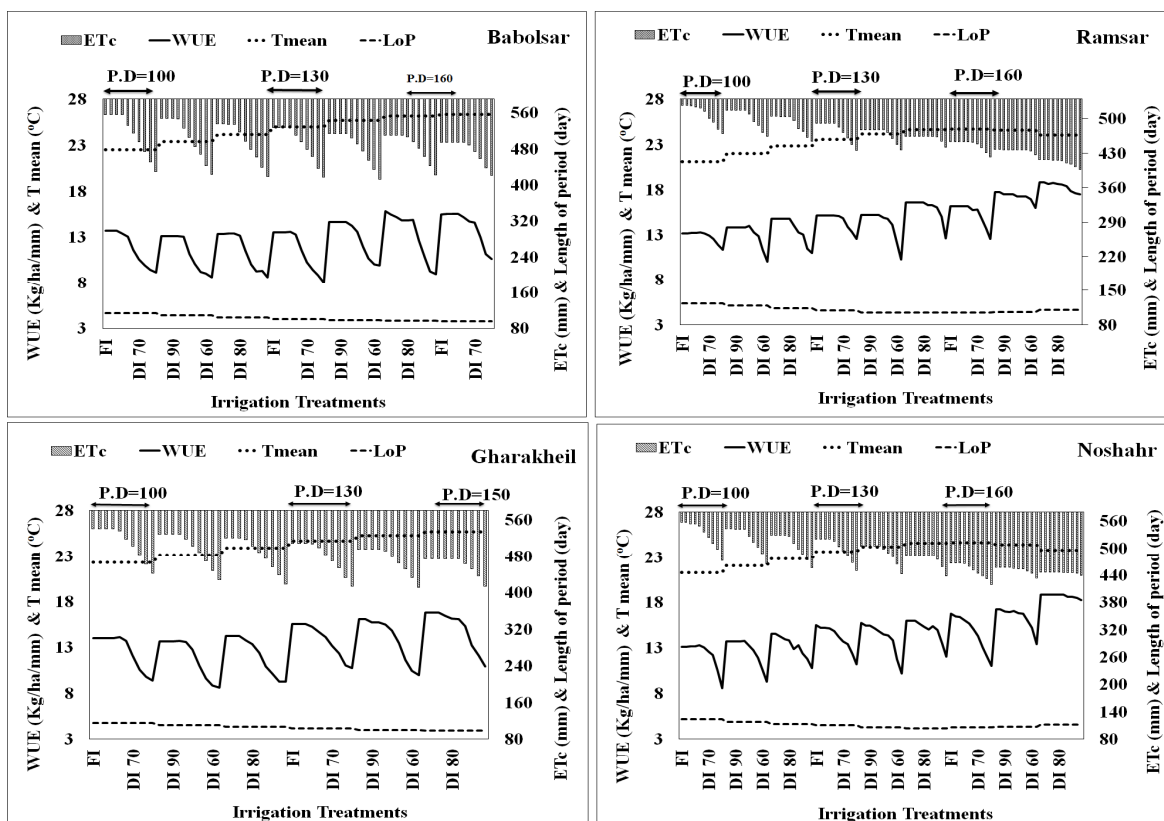
LAIX\*: حداکثر شاخص سطح برگ. TW: وزن زیست توده در موقع برداشت فیزیولوژیک. An.D: تاریخ گرده افشانی. M.D: تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک. FI: تیمار آبیاری کامل. DI75%: تیمار کم‌آبیاری در سطح ۷۵ درصد. DI 55%: تیمار کم‌آبیاری در سطح ۵۵ درصد. RMSE: جذر میانگین مربعات خطا، NRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده. R<sup>2</sup>: ضریب تعیین، d: شاخص توافق و یلموت.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای گیاهی منتخب و معیارهای ارزیابی در تیمارهای مختلف طی مرحله صحت‌سنجی در منطقه ساری

شاخص گیاهی	مشاهده شده			شبیه‌سازی شده			معیارهای ارزیابی			
	FI	DI 75%	DI 55%	FI	DI 75%	DI 55%	RMSE	NRMSE (%)	d	R <sup>2</sup>
LAIX*	۴/۳	۳/۶	۳/۳	۴/۲	۳/۹	۳/۷	۰/۲۹	۷/۸۹	۰/۸۱	۰/۹۲
TW(Kg/ha)	۱۷۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۶۱۵۲	۱۴۹۵۱	۱۲۹۰۲	۱۲۰۲/۶۵	۸/۳۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸
Yield (Kg/ha)	۷۰۰۰	۵۸۰۰	۴۲۰۰	۶۹۵۲	۵۹۸۴	۴۳۴۳	۵۴۳/۲۳	۹/۵۹	۰/۹۹۸	۰/۸۶
An.D	۵۴	۵۴	۵۴	۵۵	۵۵	۵۵	۱	۱/۸۵۲	۱	-
M. D	۹۲	۹۲	۹۲	۹۳	۹۳	۹۳	۱	۱/۰۸۷	۱	-



شکل ۱- عملکرد گیاه و مجموع بارش طی فصل رشد در تاریخ‌های کاشت (P.D) مختلف تحت تیمارهای آبیاری



شکل ۲- نیازآبی گیاه (ETc)، کارایی مصرف آب (WUE)، دمای میانگین (Tmean) و طول دوره رشد گیاه (LoP) تحت تیمارهای آبیاری و تاریخ‌های کاشت (P.D) مختلف در مناطق مورد مطالعه

## تغییر کارایی مصرف آب در سناریوهای مدیریتی

شکل ۲ مقادیر نیازآبی گیاه در هر تیمار را که براساس رابطه پرستلی-تیلور و لحاظ نمودن ضرایب گیاهی، توسط مدل محاسبه شده است را به تصویر می‌کشد. همچنین مقادیر کارایی مصرف آب نیز از تقسیم عملکرد به نیازآبی کل محاسبه و ترسیم شده است. به طور کلی این شکل نشان می‌دهد که حتی در شرایط بدون تنش نیز تاریخ کاشت می‌تواند تاثیر بارزی بر میزان کارایی مصرف آب داشته باشد، به نحوی که میزان پارامتر در مناطق بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر به ترتیب در تاریخهای کشت ۱۵۰ (۹ خرداد)، ۱۸۰ (۸ تیر)، ۱۵۰ و ۱۸۰ بیشترین مقدار (۱۵/۸۲، ۱۸/۸، ۱۶/۸ و  $kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ) را در مقایسه با سایر تاریخهای کشت داشت. با بیانی دیگر تعویق کشت به دلیل افزایش دما طول دوره‌ی رشد را کاهش داده و باعث کاهش نیاز آبی گیاه خواهد شد (بانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ واه‌ها و همکاران، ۲۰۱۳) لکن تاثیر این تعویق بر کاهش عملکرد کمتر از میزان آب مصرفی بوده و در نهایت منتج به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود.

شکل ۲ نشان می‌دهد که نرخ افزایش میزان کارایی مصرف آب در تمام تیمارها به ازای تاخیر در کشت در تاریخهای پایانی بیشتر است. این مساله به این دلیل است که علاوه بر تاریخ کاشت، مقادیر مولفه‌های مهم اقلیمی همچون دماهای کاردینال و بارش (هوول، ۲۰۰۱)، مرحله‌ی فنولوژیکی گیاه (پریئرا و همکاران، ۲۰۰۹) و شدت تنش (کاراندیش و همکاران، ۲۰۱۶) نیز می‌تواند مقادیر کارایی مصرف آب را متاثر سازد. به نحوی که برای تمام تاریخهای کشت، تنش در سطح ۴۵ درصد (DI55) کمترین کارایی مصرف آب را به همراه داشته و حداقل مطلق آن در مناطق بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر به ترتیب برابر با ۸/۰۳، ۱۰/۰۷، ۸/۶۲ و ۸/۵۹ ( $Kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ) بوده و به ترتیب در تاریخهای کشت ۱۳۰، ۱۱۰، ۱۱۰، ۱۰۰ ام میلادی مشاهده شد.

## عمق بهینه آبیاری

به منظور تعیین عمق بهینه‌ی آبیاری براساس شاخص کارایی مصرف آب، ابتدا بهترین تابع بر مقادیر عملکرد و عمق آب آبیاری نسبت داده شد. بدین منظور، با برازش توابع چند جمله‌ای از مرتبه‌های یک تا پنج به این مقادیر (عملکرد و عمق آب آبیاری)، بهترین تابع بر اساس معیارهای جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی تعیین شد. جدول ۵ نتایج این ارزیابی را در تاریخهای مختلف کشت نشان می‌دهد. در تمام مناطق به طور غالب، تابع چندجمله‌ای درجه‌ی پنج، بهترین انطباق را بر مقادیر عمق آب آبیاری و عملکرد در تاریخهای مختلف کشت داشته است. لذا از این تابع برای تحلیل و تعیین عمق آب آبیاری بهینه استفاده شد.

شکل ۳ توابع منتخب برازش یافته بر مقادیر عمق آب آبیاری و عملکرد محصول براساس نتایج به دست آمده از جدول ۵ را نشان می‌دهد. براساس این شکل می‌توان به غیرخطی بودن رابطه‌ی بین عمق آب آبیاری و عملکرد محصول پی‌برد که این یافته با نتایج بدست آمده از برخی پژوهش‌های پیشین نیز مطابقت دارد (فاری و فیسی، ۲۰۰۶). نتایج پژوهش‌ها روی گیاهان ذرت، خربزه و ذرت علوفه‌ای دلالت بر کارآمدی تابع درجه دو با ضریب تبیین بالای ۰/۹ برای توابع آب-محصول داشت (سالمی و همکاران، ۲۰۱۱). غیرخطی بودن این تابع در حقیقت مبین آن است که همواره افزایش عمق آب آبیاری منتج به افزایش محصول نخواهد شد. به بیانی دیگر، با نگاهی به شکل ۳ می‌توان دریافت که در تمام مناطق شیب این توابع در ابتدا تند بوده که نقش موثر آبیاری بر بهبود عملکرد را نشان می‌دهد و پس از آن، یکنواختی و عدم تغییر محسوس در میزان عملکرد مشاهده می‌شود.



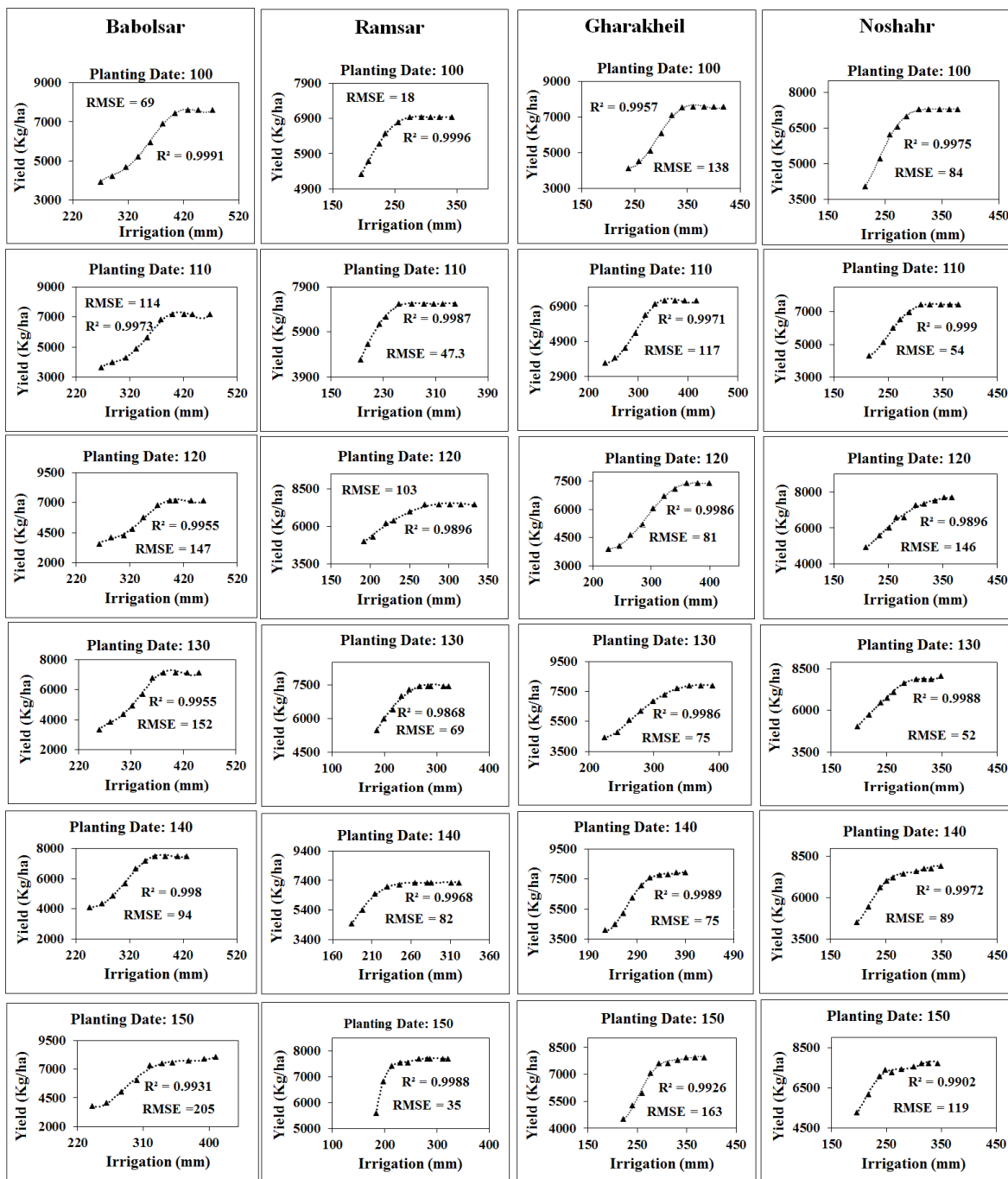
جدول ۵- مقایسه آماری توابع چند جمله‌ای برازش یافته و عملکرد در برابر عمق آبیاری در مناطق و تاریخ‌های مختلف کاشت

St.*	P.D	مرتبۀ برازش									
		یک		دو		سه		چهار		پنج	
		R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE
بابلسر	۱۰۰	۰/۹۳	۴۱۹/۷۷	۰/۹۵۹	۳۴۲/۴۳	۰/۹۹۳	۱۵۷/۷	۰/۹۹۴	۱۵۴/۱۴	۰/۹۹۷	۶۸/۷
	۱۱۰	۰/۸۹۷	۵۰۲/۰۲	۰/۹۴	۴۰۲/۶	۰/۹۸۱	۲۵۰/۳	۰/۹۸۷	۲۲۱/۵	۰/۹۹۵	۱۱۴/۳
	۱۲۰	۰/۸۹۷	۴۹۹/۹	۰/۹۴۴	۳۹۳/۱	۰/۹۸۴	۲۲۹/۹	۰/۹۸۸	۲۱۷/۵	۰/۹۹۶	۹۴/۳
	۱۳۰	۰/۸۸۵	۵۴۴/۸	۰/۹۵۴	۳۶۸/۲	۰/۹۸۱	۲۵۲/۲	۰/۹۸۸	۲۲۳/۳	۰/۹۹۵	۱۵۲
	۱۴۰	۰/۸۸	۵۱۱/۱	۰/۹۵۴	۳۴۲/۷	۰/۹۸۶	۲۰۶/۵	۰/۹۹۶	۱۱۴/۴	۰/۹۹۸	۹۴/۳
	۱۵۰	۰/۸۷	۶۲۷	۰/۹۶۴	۳۵۳/۸	۰/۹۶۹	۳۵۴/۳	۰/۹۹۲	۱۹۲/۴	۰/۹۹۳	۲۰۵/۵
رامسر	۱۰۰	۰/۷۹۷	۵۸۴	۰/۹۷۹	۱۹۸/۲	۰/۹۸	۲۱۴/۱	۰/۹۹۹	۱۶۰/۸	۰/۹۹۹	۱۱۷/۸
	۱۱۰	۰/۶۸۳	۵۳۳	۰/۹۶۱	۲۰۰	۰/۹۹۸	۳۴	۰/۹۹۸	۵۳	۰/۹۹۹	۴۷
	۱۲۰	۰/۸۲۱	۴۲۶	۰/۹۹	۱۱۴	۰/۹۹۸	۵۰	۰/۹۹۵	۹۳	۰/۹۹۹	۱۰۳
	۱۳۰	۰/۷۷۶	۳۶۱	۰/۹۸۷	۹۴	۰/۹۸۹	۹۱	۰/۹۹۶	۶۴	۰/۹۹۶	۶۹
	۱۴۰	۰/۶۶۳	۵۹۴	۰/۹۵۰	۲۴۵	۰/۹۹۵	۸۲	۰/۹۹۶	۷۱	۰/۹۹۷	۸۲
	۱۵۰	۰/۵۵۱	۴۸۱	۰/۸۵۵	۲۹۲	۰/۹۶۴	۱۵۸	۰/۹۹۴	۷۱	۰/۹۹۹	۳۵
قوانقل	۱۰۰	۰/۸۳۱	۱۴۴	۰/۹۶۵	۷۰	۰/۹۶۷	۷۳	۰/۹۹۶	۴۳	۰/۹۹۶	۴۷
	۱۱۰	۰/۸۳۶	۶۰۱	۰/۹۶۴	۳۰۲	۰/۹۷۵	۲۷۲	۰/۹۹۶	۱۲۵	۰/۹۹۶	۱۳۸
	۱۲۰	۰/۸۶۲	۵۷۷	۰/۹۶	۳۳۰	۰/۹۷۸	۲۶۴	۰/۹۹۶	۱۱۸	۰/۹۹۷	۱۱۸
	۱۳۰	۰/۹۳۵	۳۸۶	۰/۹۷۱	۲۷۷	۰/۹۹۵	۱۲۱	۰/۹۹۶	۷۲	۰/۹۹۹	۸۱
	۱۴۰	۰/۹۲	۳۹۹	۰/۹۸۷	۱۷۳	۰/۹۸۴	۲۳۴	۰/۹۹۶	۷۲	۰/۹۹۹	۷۵
	۱۵۰	۰/۸۸۶	۵۶۰	۰/۹۷۷	۲۵۶	۰/۹۸۳	۲۴۲	۰/۹۹۶	۸۲	۰/۹۹۹	۷۵
چوشه‌ک	۱۰۰	۰/۷۴	۶۰۲	۰/۹۸۶	۱۴۷	۰/۹۸۳	۱۱۶	۰/۹۹۶	۹۱	۰/۹۹۷	۸۴
	۱۱۰	۰/۸	۵۲۹	۰/۹۸۹	۱۳۵	۰/۹۸۹	۱۴۴	۰/۹۹۶	۶۱	۰/۹۹۹	۵۴
	۱۲۰	۰/۹۲۸	۲۷۲	۰/۹۸۸	۱۱۷	۰/۹۸۹	۱۲۲	۰/۹۹۶	۱۳۳	۰/۹۹۹	۱۴۶
	۱۳۰	۰/۸۹۸	۳۵۰	۰/۹۹۴	۸۷	۰/۹۹۵	۹۲	۰/۹۹۶	۶۹	۰/۹۹۹	۵۲
	۱۴۰	۰/۸۱۲	۵۱۷	۰/۹۷۹	۱۸۴	۰/۹۹۱	۱۲۸	۰/۹۹۶	۱۲۳	۰/۹۹۷	۸۹
	۱۵۰	۰/۷۳	۴۴۴	۰/۹۵	۲۰۴	۰/۹۸	۱۳۸	۰/۹۹۶	۱۴۸	۰/۹۹۹	۱۱۹
چوشه‌ک	۱۰۰	۰/۹۱۵	۳۵۰	۰/۹۹۶	۷۸	۰/۹۹۵	۸۵	۰/۹۹۶	۴۸	۰/۹۹۹	۴۶
	۱۱۰	۰/۶۷۴	۳۹۸	۰/۹۲۵	۲۰۴	۰/۹۹۵	۵۹	۰/۹۹۶	۴۶	۰/۹۹۸	۴۱
	۱۲۰	۰/۷۳۴	۶۸	۰/۹۴۳	۳۳	۰/۹۷	۲۶	۰/۹۹۶	۲۶	۰/۹۸۵	۲۳
	۱۳۰	۰/۷۳۴	۶۸	۰/۹۴۳	۳۳	۰/۹۷	۲۶	۰/۹۹۶	۲۶	۰/۹۸۵	۲۳

St.\*: نام ایستگاه, P.D: تاریخ کاشت, R<sup>2</sup>: ضریب تبیین, RMSE: جذر میانگین مربعات خطا

معنی‌دار محاسبه و نتایج آن در جدول (۶) ارائه شد. در تمامی مناطق روند معنی‌داری در سطح پنج درصد بین افزایش تاریخ کشت و کاهش عمق بهینه آبیاری مشاهده می‌شود. به نحوی که تعویق کشت توانسته عمق بهینه‌ی آبیاری را کاهش داده و امکان صرفه‌جویی بیشتری را فراهم آورد. دلیل این امر را می‌توان به افزایش دما و کاهش طول دوره‌ی رشد و مواجه شدن دوره‌ی رشد گیاه با ماه‌های پر بارش نسبت داد. جدول ۶ نشان می‌دهد که بر اساس معیار کارایی مصرف آب، کشت گیاه ذرت در تاریخ‌های ۱۶۰ (۱۹ خرداد)، ۱۸۰ (۸ تیر) و ۱۸۰ ام از روز میلادی به کمترین عمق بهینه‌ی آبیاری به ترتیب در مناطق بابلسر (۳۶۶/۴ میلی‌متر)، رامسر (۱۲۲/۴ میلی‌متر) و نوشهر (۲۰۰ میلی‌متر) منتج خواهد شد.

یافته‌های حاصل از برخی پژوهش‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که مقدار محصول تحت نقطه‌ای خاص از رژیم کم آبیاری به حداکثر مقدار خود رسیده و دادن آب اضافی تر از این مقدار، نه تنها تاثیر محسوسی بر افزایش عملکرد گیاه نخواهد داشت، بلکه می‌تواند با افزایش تلفات آب آبیاری و کاهش کارایی مصرف آب، خسارات اقتصادی معنی‌داری را به همراه داشته باشد. با این وجود برخی از پژوهشگران بر این باورند که مقدار آب مورد نیاز جهت دستیابی به بالاترین عملکرد گیاه وابستگی زیادی به یکنواختی آبیاری در سطح مزرعه خواهد داشت (هرگرت و همکاران، ۲۰۱۶). براساس توابع مندرج در شکل ۳، عمق بهینه‌ی آبیاری در مناطق مختلف و مقادیر قابل صرفه‌جویی بدون تلفات اقتصادی



شکل ۳- توابع آب-محصول برازش داده شده، تحت تیمارهای آبیاری و تاریخ‌های کشت مختلف

این مساله تاثیر مکان کشت را در تعیین عمق بهینه آبیاری نشان می‌دهد. وجود ذخیره رطوبتی کافی در خاک در هنگام کشت می‌تواند تاثیر بارزی بر شدت جوانه‌زنی گیاه و توان زنده ماندن آن و در نهایت میزان عملکرد داشته باشد. همچنین، تفاوت در مولفه‌های مهم اقلیمی، ویژگی‌های خاک، مدیریت‌های زراعی نیز از

افزایش عمق آبیاری به بیش‌تر از این مقادیر تاثیر محسوسی بر افزایش محصول در مناطق مذکور نخواهد داشت. جدول ۶ رفتار متفاوتی را در منطقه قراخیل نشان می‌دهد. به نحوی که کم‌ترین عمق بهینه آبیاری در این منطقه در روز ۱۰۰ ام میلادی (۲۱ فروردین، تاریخ کشت ابتدایی) بدست آمده و برابر با ۳۶۲/۸ میلی‌متر بود

ابتدایی خواهد بود. این نتیجه، انگیزه توصیه‌ی کشت‌های دیر هنگام برای استان را در ذهن تداعی می‌سازد؛ اما باید توجه داشت تاریخ برداشت یکی از مهم‌ترین زمان‌ها در تقویم زراعی گیاه ذرت است. برداشت دیر هنگام می‌تواند زمینه شیوع بیماری‌ها و حمله‌ی آفت‌ها (آکوآه و همکاران، ۲۰۱۵) کاهش کیفیت محصول و میزان پروتئین دانه (گیل، ۲۰۱۰) و همچنین افزایش معنی‌دار تلفات دانه در انبار ذخیره به دلیل افزایش طول دوره‌ی خشک شدن در مزرعه (کآیا و کیاموهنگیر، ۲۰۰۶) شود. از سویی دیگر، تعویق کشت می‌تواند به دلیل پیامدهای دیگری همچون کاهش فرصت آماده‌سازی زمین برای کشت دوم، میزان تلفات اقتصادی را افزایش دهد (یاگامی و همکاران، ۲۰۱۴). به همین دلیل، در انتخاب تاریخ کاشت باید همه‌ی عوامل در نظر گرفته شود؛ اما آنچه بر اساس نتایج این تحقیق مسلم می‌گردد آن است که در هر تاریخ منتخب، می‌توان مدیریت آبیاری را به نحوی تنظیم نمود که ضمن بیش‌ترین بهره از آب سبز طی فصل رشد، عمق آب آبیاری را کاهش داده و مانع بروز تلفات اقتصادی (مصرف بیش از اندازه آب و کاهش محصول) معنی‌دار شد.

جمله عوامل موثر دیگر بر میزان محصول تولیدی بوده که باعث تغییرات مکانی عملکرد گیاهی یکسان می‌شود (کاراندیش و همکاران، ۲۰۱۶). اگرچه تعویق کشت می‌تواند نیاز آبی گیاه را کاهش داده و از عمق آبیاری بکاهد، لکن مقایسه‌ی مقادیر عمق بهینه‌ی آبیاری در هر تاریخ کاشت با مقادیر متناظر بدست آمده برای آن در آبیاری کامل در همان تاریخ نشان می‌دهد که تغییر عمق آب آبیاری گیاه ذرت در تاریخ‌های کشت ابتدایی منتج به صرفه‌جویی بیش‌تری نسبت به آبیاری کامل خواهد شد. به گونه‌ای که تاریخ‌های کشت ۱۱۰ (۳۱ فروردین)، ۱۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ در مناطق بابلسر، رامسر، قراخیل و نوشهر به ترتیب با ۱۳/۸، ۲۲/۸، ۱۵/۲ و ۱۵/۱ درصد، بیش‌ترین صرفه‌جویی را نسبت به آبیاری کامل با حفظ عملکرد داشته‌اند. در مجموع بررسی نتایج بدست آمده از آزمون روند بین مناطق حاکی از آن است که روند صرفه‌جویی مصرف آب نسبت به تاریخ کشت در تمامی مناطق به غیر از نوشهر در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است؛ اما در مجموع، تاثیر تاریخ کاشت در کاهش عمق آب آبیاری به حدی است که حتی عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل در تاریخ‌های کشت دیرتر کم‌تر از عمق بهینه‌ی آبیاری در تیمارهای تحت تنش در تاریخ‌های کشت

جدول ۶- مقادیر بهینه آبیاری و درصد صرفه‌جویی به ازای آن در مناطق و تاریخ‌های کشت مختلف

نوشهر			قراخیل			رامسر			بابلسر			تاریخ کاشت
FI	Opt. D	%Save	FI	Opt. D	%Save	FI	Opt. D	%Save	FI	Opt. D *	%Save	
۳۷۸	۳۲۸/۵	۱۳/۱	۴۱۸	۳۶۲/۸	۱۳/۲	۳۴۲	۲۹۰	۱۵/۲	۴۷۳/۳	۴۲۷/۸	۹/۶	۱۰۰
۳۷۸	۳۳۱/۷	۱۲/۲	۴۱۷	۳۶۳/۴	۱۲/۹	۳۴۰	۲۷۶/۹	۱۸/۶	۴۶۹	۴۱۲/۲	۱۲/۱	۱۱۰
۳۶۶	۳۶۶	۰	۳۹۹	۳۷۲/۶	۶/۶	۳۳۳	۲۹۱/۵	۱۲/۵	۴۵۷	۴۰۶/۳	۱۱/۱	۱۲۰
۳۴۸	۳۱۳/۷	۹/۹	۳۹۰	۳۷۳/۷	۴/۲	۳۲۳	۲۷۶	۱۴/۶	۴۴۹	۳۹۶/۹	۱۱/۶	۱۳۰
۳۴۸	۳۴۳	۱/۴	۳۹۰	۳۹۰	۰	۳۲۱	۳۰۹/۵	۳/۶	۴۲۷	۳۸۰/۸	۱۰/۸	۱۴۰
۳۴۳	۳۳۳	۳/۲	۳۸۵	۳۷۵/۱	۲/۶	۳۲۱	۲۹۰/۷	۹/۴	۴۰۹	۴۰۹	۰	۱۵۰
۲۲۱	۲۲۱	۰	-	-	-	۲۳۹	۲۰۶/۶	۱۳/۶	۳۷۸	۳۶۶/۴	۳/۱	۱۶۰
۲۲۱	۲۱۷/۵	۱/۶	-	-	-	۲۳۹	۲۳۹	۰	-	-	-	۱۷۰
۲۲۶	۲۰۰	۹/۵	-	-	-	۱۳۹	۱۲۲/۴	۱۱/۹	-	-	-	۱۸۰

Opt. D: \* عمق بهینه آبیاری (میلی‌متر)، %Save: درصد صرفه‌جویی نسبت به آبیاری کامل و FI: آبیاری کامل (میلی‌متر)

با بهره‌گیری از قابلیت‌های مدل DSSAT-CERES Maize انجام شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که بر مبنای شاخص کارایی مصرف آب، مدیریت هم‌زمان عمق آب آبیاری و تاریخ کاشت می‌تواند بین ۱/۶ تا ۲۲/۸

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش باهدف بررسی اثرات سطوح مختلف کم آبیاری و تاریخ‌های کاشت بر عملکرد، کارایی مصرف آب و تعیین عمق بهینه آبیاری در استان مازندران

خسارات احتمالی در نتیجه‌ی برداشت دیرتر گیاه، لزوم توجه همه‌جانبه در انتخاب تاریخ کشت را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. به این ترتیب، می‌توان متناسب با برنامه‌ی الگوی کشت موجود در استان، نسبت به انتخاب تاریخ کشت اقدام نمود؛ اما یافته‌های این پژوهش گواه آن است که برای هر تاریخ، مدیریت صحیح آبیاری از میزان آب مصرفی بدون کاهش معنی‌دار عملکرد خواهد کاست. همچنین برای تکمیل نتایج و راستی‌آزمایی آن‌ها، پیشنهاد می‌گردد، در تاریخ‌های کاشت دیگر نیز واسنجی و صحت‌سنجی انجام گیرد.

درصد صرفه‌جویی در اختصاص آب به کشت ذرت در استان را به همراه داشته باشد؛ و این بدین معناست که تاریخ کاشت حساسیت به تنش را متاثر می‌سازد و براین اساس، می‌توان شدت کم‌آبیاری را متناسب با آن تغییر داد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تاثیر کشت‌های دیرهنگام بر کاهش نیاز آبی گیاه به حدی است که حتی عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل در تاریخ-های کشت دیرتر کم‌تر از عمق بهینه‌ی آبیاری در تیمارهای تحت تنش در تاریخ‌های کشت زودتر خواهد بود. اگرچه این نتیجه، انگیزه‌ی توصیه‌ی کشت‌های دیرهنگام در استان را تداعی می‌سازد، لکن توجه به

### فهرست منابع

۱. ربیع، م.، قیصری، م.، میرلطیفی، س. م. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل DSSAT v4.5 به منظور شبیه‌سازی آبخوبی نیترات در مزرعه ذرت در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۷(۶۳): ۸۰-۷۱.
۲. شیروانیان، ع.، حقیقت‌نیا، ح. و مهرجو، س. ۱۳۹۳. تعیین آستانه اقتصادی کم‌آبیاری پنبه در شهرستان داراب. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی. ۲۸(۴): ۳۲۱-۳۱۲.
۳. کاراندیش، ف.، میرلطیفی، س. م.، شاه‌نظری، ع.، قیصری، م. و عباسی، ف. ۱۳۹۲. تأثیر کم‌آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی ذرت بر جذب و پتانسیل آبخوبی نیترات. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۲(۲): ۹۸-۸۵.
۴. مرادی، ر.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. ۱۳۹۲. تاثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بعنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴): ۱۳۰-۱۱۱.
5. Akowuah JO, Mensah LD, Chan Ch, Roskilly A. 2015. Effects of practices of maize farmers and traders in Ghana on contamination of maize by aflatoxins: Case study of Ejura-Sekyeredomase Municipality. *Afric J Microbiol Res.* 9(25): 1658-1666.
6. Asgari, A., Taghipoor-Bafghi, A. 2004. Deficit irrigation, a technique for reducing water use in agricultural production. *Olive Magazine.* 61, 37-32.
7. Chisanga, C. B., Phiri, E., Shepande, C., & Sichingabula, H. 2015. Evaluating CERES-Maize Model Using Planting Dates and Nitrogen Fertilizer in Zambia. *Journal of Agricultural Science*, 7(3), p79.
8. Domínguez, A., De Juan, J. A., Tarjuelo, J. M., Martínez, R. S., & Martínez-Romero, A. 2013. Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. *Agricultural water management*, 110, 67-77.
9. Fang, Q. X., Ma, L., Nielsen, D. C., Trout, T. J., & Ahuja, L. R. 2014. Quantifying corn yield and water use efficiency under growth stage-based deficit irrigation conditions. *Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water*, (practicalapplic), 1-24.

10. Farré, I., Faci, J.M., 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 83, 135–143.
11. Gaile Z. 2010. The role of maize harvest timing for high-quality silage production (summary): proceedings of Latvia University of Agriculture. – 2010, 25(320): 116-128.
12. Hergert, G. W., Margheim, J. F., Pavlista, A. D., Martin, D. L., Supalla, R. J., & Isbell, T. A. 2016. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. *Agricultural Water Management*, 168, 96-103.
13. Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, K.J. Boote, L.A. Hunt, U. Singh, J.I. Lizaso, J.W. White, O. Uryasev, R. Ogoshi, J. Koo, V. Shelia, and G.Y. Tsuji. 2015. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (www.DSSAT.net). DSSAT Foundation, Prosser, Washington.
14. Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93:281–289.doi:10.2134/agronj2001.932281x.
15. Jones, J. W., G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijsman, and J. T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy.* 18(3):235-265.
16. Kaaya AN, Kyamuhangire W. 2006. The effect of storage time and agroecological zone on mould incidence and aflatoxin contamination of maize from traders in Uganda. *Int J Food Microbiol.* 110: 217-223.
17. Karandish F. 2016. Improved soil-plant water dynamics and economic water use efficiency in a maize field under locally water stress. *Arch Agron Soil Sci.* In press.
18. McMaster, Gregory S. and Wilhelm, Wallace. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. Paper 83.
19. Negm, Lamyaa M, Mohamed A Youssef, Richard W Skaggs, George M Chescheir and Eileen J Kladvko. 2014. "DRAINMOD-DSSAT Simulation of the Hydrology, Nitrogen Dynamics, and Plant Growth of a Drained Corn Field in Indiana." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 140(8 ): 04014026.
20. Ngwira, A.R., Aune, J.B., Thierfelder, C. 2014. DSSAT modeling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi. *Soil and Tillage Research.* 143: 85-94.
21. Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., & Pereira, L. S. 2014. Partitioning evapotranspiration, yield prediction and economic returns of maize under various irrigation management strategies. *Agricultural Water Management*, 135, 27-39.
22. Pereira, L.S., P. Paredes, E.D. Sholpankulov, O.P. Inchenkova, P.R. Teodoro, and M.G. Horst. 2009. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agric. Water Manage.* 96:723–735. doi:10.1016/j.agwat.2008.10.013.
23. Ruane, Alex C, L DeWayne Cecil, Radley M Horton, Román Gordón, Raymond McCollum, Douglas Brown, Brian Killough, Richard Goldberg, Adam P Greeley and Cynthia Rosenzweig. 2013. "Climate Change Impact Uncertainties for Maize in Panama: Farm Information, Climate Projections, and Yield Sensitivities." *Agricultural and Forest Meteorology* 170: 132-145.
24. Soler, C. M. T., P. C. Sentelhas, and G. Hoogenboom. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy.* 27(2):165-177.
25. Steduto, P. Hsiao T. C., Fereres E., and Raes, D. 2012. Crop yield response to water. *FAO Irrigation and drainage paper.* 66.114-120.
26. Waha, K., Müller, C., Bondeau, A., Dietrich, J. P., Kurukulasuriya, P., Heinke, J., & Lotze-Campen, H. 2013. Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. *Global Environmental Change*, 23(1), 130-143.

27. Yang, X., Gao, W., Shi, Q., Chen, F., & Chu, Q. 2013. Impact of climate change on the water requirement of summer maize in the Huang-Huai-Hai farming region. *Agricultural water management*, 124, 20-27.
28. Yegbemey, R. N., Kabir, H., Awoye, O. H., Yabi, J. A., & Paraïso, A. A. 2014. Managing the agricultural calendar as coping mechanism to climate variability: A case study of maize farming in northern Benin, West Africa. *Climate Risk Management*, 3: 13-23.