

به زراعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۷۱۳-۷۲۶

DOI: 10.22059/jci.2020.293896.2313

مقاله پژوهشی:

بررسی اثر تقویم زراعی بر پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) ذرت در دشت مغان

علی اکبر عزیزی زهان^{۱*}، عبدالمجید لیغات^۲، مهدی شهابی‌فر^۳، سید علیرضا سید جلالی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. استاد، گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. استادیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

چکیده

پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) شاخصی مهم برای کمی‌سازی اثربخشی عوامل ذاتی بر بهره‌وری فیزیکی است. یکی از عوامل مهم مؤثر بر این شاخص تقویم زراعی است. با توجه به اهمیت زراعت ذرت و ضرورت ارتقای بهره‌وری آب، شاخص PCWP برای هشت تقویم زراعی و پنج مزرعه ذرت در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ بررسی شد. تقویم‌های زراعی از منابع رسمی موجود و جلسات کارشناسی احصا شد. اجزای PCWP از مدل رشد فائو (عملکرد) و روش استاندارد پنمن-مانتیت-فائو (تبخیر-تعرق) تعیین شد. برای ذرت علوفه‌ای میانگین PCWP در کشت دوم نسبت به کشت اول ۲۳ درصد افزایش داشت و از منظر ارتقای بهره‌وری آب تقویم‌های کشت دوم توصیه می‌شود. با وجود افزایش ۱۳/۷ درصدی PCWP در کشت دوم ذرت دانه‌ای، استفاده از تقویم‌های کشت اول توصیه می‌شود. با توجه به تغییرات بهره‌وری آب (WP) و اجزای آن، تخصیص آب و برنامه‌ریزی آبیاری بر مبنای ETc و متناسب با تقویم زراعی ضروری است. برای مقایسه و تحلیل درست در انتخاب تقویم زراعی، استفاده از WP بر مبنای ETc و عملکرد واقعی مناسب نبوده و لازم است از مقادیر PCWP بر مبنای پتانسیل تولید اقلیمی (CPP) در شرایط آبی (IPP) و ETc استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری آب (WP)، پتانسیل تولید اقلیمی (CPP)، تاریخ کاشت، تبخیر-تعرق (ET)، کارایی مصرف آب (WUE).

Investigation of the Effect of Crop Calendar on the Potential Climatic Water Productivity (PCWP) of Maize in Moghan Plain

Ali Akbar Azizi Zohan^{1*}, Abdolmajid Liaghat², Mehdi Shahabifar³, Seyed Alireza Seyed jalali³

1. Ph.D. Candidate, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Professor, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Assistant Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: February 3, 2020

Accepted: February 15, 2021

Abstract

The Potential Climatic Water Productivity (PCWP) is an important indicator to quantify the effect of intrinsic factors on physical water productivity. The crop calendar is one of the important factors affecting this index. Considering the importance of maize farming and the necessity of improving water productivity, PCWP index has been investigated for eight agronomic calendars and five maize farms between 2015 and 2016. Crop calendars were extracted from available official sources and expert meetings. The PCWP components are determined from the FAO Growth Model (yield) and the standard FAO Penman-Monteith method (evapotranspiration). The mean PCWP for maize forage in the second crop cultivation has increased by 23%, compared to the first cultivation; therefore, the use of second cultivation calendars is recommended in regard to the promoting water productivity. In spite of a 13.7% increase in PCWP in the second maize-grain cultivation, the use of the first cultivation calendars is recommended. Due to changes in water productivity (WP) and its components, water allocation and irrigation scheduling based on ETc appropriate to the crop calendar is essential. However, WP based ETc and actual yield are not appropriate for correct comparison, analysis, and crop calendar selection, so it is necessary to use PCWP values based on climatic potential production (CPP) under water conditions (IPP) and ETc.

Keywords: Climatic production potential (CPP), evapotranspiration (ET), planting date, water productivity (WP), water use efficiency (WUE).

۱. مقدمه

عملکرد آمارنامه‌ها به‌عنوان ستانده استفاده شده و بیشینه ممکن بهره‌وری آب و سهم عوامل مختلف مؤثر بر آن، در نظر گرفته نشده است.

عوامل مختلفی بر شاخص بهره‌وری آب محصول‌ها مؤثر است. Azizi Zohan *et al.* (2019) عوامل مؤثر بر فرایند تولید در نظام کشاورزی را به دو گروه مدیریت‌پذیر و ذاتی تقسیم و عوامل عمده ذاتی مؤثر بر WP را مطابق نیازهای رویشی گیاهان که توسط Givi (۱۹۹۷) و Sys *et al.* (1991a, b) ارائه شده، به دو گروه الف- موقعیت جغرافیایی، اقلیم و گیاه و ب- خصوصیات زمین، خاک و گیاه، تقسیم کردند. سپس شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی^۴ (PCWP) را برای کمی‌سازی اثر عوامل گروه «الف» بر بهره‌وری فیزیکی آب، تعریف و روش تعیین آن را ارائه نمودند.

با بررسی انجام‌شده برای تعیین PCWP ذرت و کمی‌سازی اثر تقویم زراعی بر مقدار آن، پژوهشی یافت نشد، اما در خصوص اجزای آن شامل ETc و پتانسیل تولید اقلیمی^۵ (CPP) به‌طور جداگانه و با هدف‌های دیگر، پژوهش‌های زیادی گزارش شده است. پژوهش‌های CPP بیش‌تر با هدف برآورد تولید پتانسیل با مدل‌های همانندسازی رشد گیاه و تولید محصول در شرایط مختلف اقلیمی بوده‌است (Toscano *et al.*, 2012). از جمله، پتانسیل تولید اقلیمی ذرت علوفه‌ای ۵۲ تن در هکتار برای خداآفرین دشت مغان (Mashayekhi & Torabi, 2014)، ۱۰۷ تن در هکتار برای شهرکرد (Etedali *et al.*, 2012) و ۷۵ تن در هکتار برای هشتگرد (Yadollahi Noshabadi *et al.*, 2017) و هشت تن در هکتار برای ذرت دانه‌ای در کرمانشاه (Fatehi *et al.*, 2007) گزارش شده است. Izadfard *et al.* (2017)

به‌منظور دستیابی به هدف‌های تولید کشاورزی در افق ۱۴۰۴ باید شاخص فیزیکی بهره‌وری آب به حداقل دو برابر مقدار سال ۱۳۸۶ برسد (Heidary, 2011). ارتقای سطح بهره‌وری، نتایجی از قبیل استفاده بهینه از منابع، کاهش هزینه‌ها، افزایش سودآوری و رشد اقتصادی پایدار را به‌دنبال دارد (Azizi Zohan *et al.*, 2014). ارتقای سطح بهره‌وری آب برای محصول‌های مختلف از جمله ذرت ضرورت دارد. ذرت با میانگین سطح کشت ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای در کشور و استان اردبیل به‌ترتیب ۲۲۳/۳، ۱۰/۹ و ۱۵۸/۵ و ۸/۳ هزار هکتار و میانگین عملکرد آنها در کشور، استان اردبیل و منطقه مغان به‌ترتیب ۵۰/۵، ۴۱/۳، ۴۸/۱ و ۷/۴ و ۷/۴ تن در هکتار (Ministry of Agriculture, Jihad, 2017) از محصول‌های مهم است.

پژوهش‌های زیادی در خصوص بهره‌وری آب^۱ (WP) و کارایی مصرف آب^۲ (WUE) در تولید محصولات کشاورزی از جمله ذرت انجام شده است^۳. از جمله؛ Zwart & Bastiaanssen (2004) با بررسی پژوهش‌های کشورها دامنه WP ذرت دانه‌ای را ۱/۱ تا ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. Heidary (2011)، WP ذرت علوفه‌ای در مزارع کشاورزان را ۵/۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرد. Galebi (2017)، WP ذرت علوفه‌ای در مزارع کشاورزان قزوین را ۶ تا ۷/۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرد. Yadollahi Noshabadi *et al.* (2017)، WP ذرت علوفه‌ای در منطقه هشتگرد را ۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در محاسبه‌های بزرگ مقیاس برای WP عموماً از تخییر- تعرق گیاه در شرایط استاندارد (ETc) به‌عنوان نهاده و از

1. Water Productivity (WP)

2. Water Use Efficiency (WUE)

۳. در برخی از پژوهش‌ها نسبت محصول به آب مصرفی با WUE بیان شده ولی در این مقاله یکسان‌سازی انجام و از شاخص WP استفاده شد.

4. Potential Climatic Water Productivity (PCWP)

5. Climatic Production Potential (CPP)

(2016) اثر تاریخ کاشت برای کشت اول و دوم هیبریدهای ذرت را در مغان بررسی و تاریخ کاشت دهم اردیبهشت‌ماه را توصیه کردند. Izadfar *et al.* (2017) با مدل آکواکراپ برآورد تاریخ کاشت ذرت در دشت مغان را انجام و بازه کشت بهاره را طولانی‌تر از بازه معمول و برای کشت دوم همسان با بازه کشت منطقه گزارش کرد. برای استان اردبیل تاریخ کاشت و برداشت ذرت دانه‌ای به ترتیب فروردین‌ماه و اول مردادماه تا پایان شهریورماه پیشنهاد شده است (Farshi *et al.*, 1997) و (Ministry of Agriculture, 1994) Netwat (Anonymous, 2002) با لحاظ تقویم‌های زراعی نیاز آبی ذرت در منطقه را تعیین کرده که ملاک تخصیص و تحویل آب به کشاورزان می‌باشد. جمع‌بندی بررسی‌ها نشان داد که در پژوهش‌های تاریخ کاشت و تقویم زراعی، تغییرات ETC و CPP مورد توجه نبوده و فقط عملکرد واقعی مدنظر است و به اثر متقابل آن‌ها پرداخته نشده است. هم‌چنین در پژوهش‌های WP که عوامل مختلف مؤثر در فرایند تولید مدنظر است، عموماً ستانده (عملکرد) و نهاده (آب مصرفی) با هم به کار نرفته و اثر تقویم زراعی بر مقدار آن بررسی نشده است. با توجه به اهمیت تولید انواع ذرت در منطقه، ضرورت ارتقای WP و با نظر به این‌که هنوز اثر تقویم‌های مختلف زراعی ذرت در منطقه بر شاخص بهره‌وری آب ارزیابی نشده است، تعیین شاخص PCWP معرفی شده توسط Azizi Zohan *et al.* (2020) برای انواع ذرت و بررسی اثر تقویم زراعی بر آن برای تعیین تقویم با بهره‌وری آب بالا ضرورت دارد. لذا، هدف اصلی از این پژوهش تعیین شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) ذرت علوفه‌ای، دانه‌ای و بذری در اراضی شبکه آبیاری و زهکشی مغان است. هم‌چنین اثر تقویم‌های مختلف زراعی بر شاخص PCWP برای انواع ذرت بررسی خواهد شد.

پتانسیل تولید حرارتی- تابشی ذرت را با مدل فائو و Aquacrop برای منطقه مغان بررسی و به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۵/۵ تن در هکتار گزارش کردند. براساس تعریف فائو نیاز آبی گیاه در شرایط تولید CPP برابر ETC است. پژوهش‌های ETC بیش‌تر با هدف برآورد تبخیر- تعرق گیاه برای شرایط مختلف است. از جمله؛ ETC ذرت دانه‌ای برابر ۱۰۵۳، ۹۰۱ و ۹۱۳ میلی‌متر به ترتیب برای کرج (Shariati *et al.*, 1993)، مغان (Ahmadi Adli, 2007) و ماهیدشت کرمانشاه (Bafkar *et al.*, 2013) گزارش شده است. (Farshi *et al.*, 1997) ETC ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای برای ۴۷ و ۳۶ شهر را به ترتیب بین ۳۲۳ تا ۹۸۲ و ۴۴۹ تا ۱۰۰۱ میلی‌متر گزارش کردند. (Khazaei *et al.*, 2013) آب مصرفی ذرت علوفه‌ای در دشت لوئین ساوه را با داده‌های به‌هنگام هواشناسی و بلندمدت به ترتیب ۵۳۸ و ۶۳۱ میلی‌متر گزارش کردند. WP ذرت علوفه‌ای ۷/۶ و ۴/۸ کیلوگرم در مترمکعب بود. تقویم زراعی یکی از عوامل مهم مؤثر بر ستانده (عملکرد) و نهاده (آب مصرفی) PCWP در زراعت ذرت است. تقویم زراعی عبارت از تاریخ کاشت و برداشت محصول و از مهم‌ترین متغیرهای تولید است (Khayamim & Fathelah Taleghani, 2008). در خصوص اثر تقویم زراعی بر عملکرد ذرت پژوهش‌های زیادی انجام شده است. از جمله، Estakhr & Dehghanpour (2010) با بررسی تاریخ کاشت ارقام ذرت برای کشت دوم، اثر بسیار معنی‌دار آن بر عملکرد را گزارش و بیان داشتند رقم KSC 704 در کاشت با تأخیر دچار سرمازدگی آخر فصل شد. Anvari *et al.* (2012) با بررسی اثر تاریخ کاشت بر هیبریدهای ذرت دانه‌ای در میان‌دوب، ۳۰ اردیبهشت‌ماه را بهترین تاریخ کاشت معرفی کردند. Sobhani & Omidzada (2013) بهترین زمان کاشت و برداشت ذرت در خرم‌آباد را ۲۰ اردیبهشت‌ماه و ۱۶ شهریورماه تعیین کردند. Shiri *et al.*

۲. مواد و روش‌ها

دشت مغان بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۵۰ تا ۶۰۰ متر و اقلیم آن نیمه‌خشک معتدل است. براساس آمار آب‌وهوایی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد، این منطقه جزو اقلیم نیمه‌بیابانی خفیف بوده، دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه ۲۸۱ میلی‌متر گزارش شده است.

پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) ذرت برابر نسبت پتانسیل تولید اقلیمی (CPP) در شرایط آبی (IPP) به آب مصرفی گیاه تحت شرایط استاندارد (ETc) به صورت رابطه (یک) تعریف شده است (Azizi Zohan et al., 2020). برای تعیین PCWP در تقویم‌های مختلف زراعی انواع ذرت مراحل زیر انجام شد.

$$\text{PCWP} = \frac{\text{IPP}}{\text{ETc}} \quad (۱)$$

داده‌های اقلیمی و هواشناسی لازم برای محاسبه ETc و IPP به صورت روزانه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد تهیه شد (جدول ۱). تقویم

زراعی مناسب ذرت علوفه‌ای، دانه‌ای و بذری برای کشت-های اول و دوم با برگزاری جلسه‌هایی با کارشناسان مرکز تحقیقات کشاورزی مغان، مدیریت جهاد کشاورزی مغان و شرکت کشت و صنعت پارس، برای منطقه مشخص شد. علاوه بر آن از تقویم‌های ارائه شده توسط Farshi et al. (1997) و Ministry of Agriculture Jihad and Iranian Meteorological Organization (2002) نیز استفاده شد. طی جلسات کارشناسی پنج مزرعه نیز به گونه‌ای که معرف شرایط مختلف مدیریتی مزارع ذرت منطقه باشد انتخاب و برای آن داده‌هایی از قبیل نوع ذرت، تاریخ کاشت و برداشت مزرعه، مساحت مزرعه، عملکرد، طول دوره رشد و تراکم، یادداشت‌برداری یا اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

با توجه به استفاده و تأیید مدل رشد فائو برای مناطق و محصولات مختلف از جمله ذرت در ایران (Yadollahi Noshabadi et al., 2017; Izadfar et al., 2017; Etedali et al., 2012; Fatehi et al., 2007; Khaghani, 2010; Mashayekhi & Torabi, 2014)، در این پژوهش برای برآورد CPP ذرت در شرایط آبی (IPP) از مدل فائو (Sys et al., 1991) و نیازهای رویشی گیاه ذرت (Givi, 1997; Sys et al., 1993) استفاده شد.

جدول ۱. خلاصه داده‌های هواشناسی ایستگاه پارس‌آباد مغان برای دوره رشد ذرت در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴

ماه									پارامتر
Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	
۲/۶	۹/۷	۱۶/۷	۲۰	۲۰/۴	۱۷/۷	۱۳/۹	۸/۱	۵/۷	T _{min} (°C)
۱۲/۴	۱۶/۶	۲۵/۷	۳۵/۶	۳۰/۱	۳۱/۳	۲۶/۱	۲۰/۲	۱۵/۶	T _{max} (°C)
۱۰/۴	۱۴/۹	۲۳/۲	۳۰/۸	۲۷/۰	۲۶/۸	۲۲/۲	۱۶/۵	۱۲/۹	T _{day} (°C)
۸۰	۸۶	۷۷	۶۱	۶۶/۸	۶۳	۷۲	۷۷	۷۷/۸	RH (%)
۲	۱/۶	۱/۵	۲	۲/۵	۲/۴	۲/۲	۲/۱	۲/۵	U ₂ (m/s)
۴/۶	۳/۷	۶	۱۰	۵/۱	۷/۶	۷/۳	۵/۷	۳/۶	N (hr)
۹/۷	۱۰/۹	۱۲/۲	۱۳/۶	۱۴/۴	۱۴/۸	۱۴/۲	۱۳/۱	۱۱/۸	N (hr)

تمام تقویم‌های زراعی ذرت از رابطه (۸) محاسبه شد. علاوه بر این از مقادیر گزارش شده توسط Farshi *et al.* (1997) و نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) برای تقویم‌های متناسب استفاده شد.

$$ETc = ETo \times Kc \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن، Kc ضریب گیاهی هر محصول و ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع در اقلیم موردنظر است. برای Kc ذرت از مقادیر Farshi *et al.* (1997)، Allen *et al.* (1998) و نتایج تحقیقات محلی (Ahmadi Adli, 2007) استفاده و با توجه به بافت خاک، مدیریت آبیاری منطقه و داده‌های هواشناسی به روش ارائه شده در نشریه ۵۶ فائو اصلاح شد. ETo با استفاده از روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت با استفاده از پارامترهای هواشناسی مؤثر از رابطه (۹) محاسبه شد (Allen *et al.*, 1998).

$$ETo = \frac{0.408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن، Rn تابش خالص در سطح گیاه، G شار گرمای خاک، T دمای هوا و U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری، es فشار بخار اشباع، ea فشار بخار واقعی، $(es - ea)$ کمبود فشار بخار اشباع، Δ شیب منحنی فشار بخار و γ ضریب ثابت سایکرومتری است.

پس از محاسبه تبخیر-تعرق ذرت در شرایط استاندارد (ETc) و پتانسیل تولید اقلیمی ذرت در شرایط آبی (IPP) برای تقویم‌های مختلف زراعی، مقدار شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) در هر تقویم با رابطه (۱) محاسبه و ارائه شد. علاوه بر این WP برای پنج مزرعه واقعی بر مبنای عملکرد واقعی اندازه‌گیری شده، محاسبه و ارائه شد.

۳. نتایج و بحث

تقویم‌های مختلف زراعی برای انواع ذرت از منابع و جلسات کارشناسی که برابر هفت، چهار و دو تقویم به ترتیب

در این مدل زیست‌توده خالص (Bn) و عملکرد پتانسیل (Yp) با روابط (۲) و (۳) برآورد می‌شود (Sys *et al.*, 1991a).

$$Bn = \frac{0.36 * bgm * KLAI}{\left(\frac{1}{L}\right) + 0.25ct} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Yp = Bn \times Hi \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، bgm میزان حداکثر تولید ناخالص زیست‌توده (رابطه‌های ۴ و ۵)، ct ضریب تنفس (رابطه ۶)، L تعداد روزهای بین کاشت و برداشت (رسیدن محصول)، $KLAI$ عامل تصحیح شاخص سطح برگ (در این پژوهش برابر ۰/۹۱۹۵ محاسبه شد) و Hi شاخص برداشت است. مقدار LAI و Hi برای ذرت رقم ۷۰۴ (رقم غالب منطقه) در منطقه مورد مطالعه از (Beheshti *et al.*, 2007) استخراج شد.

$$bgm = f \times bo + (1 - f) \times bc \quad \text{رابطه (۴)}$$

با توجه به این‌که حداکثر میزان فتوسنتز برگ (Pm) ذرت در مقابل دمای روز به مقدار y درصد نسبت به مقدار $Pm = 20 \text{ kgCH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ افزایش دارد. رابطه (۴) برای محاسبه bgm به شکل رابطه (۵) تغییر می‌یابد.

$$bgm = f \times bo \times (1 + 0.002 y) + (1 - f) \times bc \times (1 + 0.005 y) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Ct = C30 (0.044 + 0.0019 t + 0.001 t^2) \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن‌ها، f نسبت روزهایی که هوا ابری است، bo حداکثر میزان کل تولید بیوماس ناخالص در هوای ابری، bc حداکثر میزان کل تولید بیوماس ناخالص در هوای صاف، $C30$ ضریب تنفسی گیاه که برای ذرت برابر ۰/۰۱۰۸ می‌باشد و t متوسط درجه حرارت روز در طول سیکل رشد گیاه (رابطه ۷) است.

$$Td = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} + \frac{(T_{max} - T_{min})}{4\pi} \left(\frac{46 - N}{N} \right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن، T_{min} و T_{max} به ترتیب دمای حداکثر و حداقل، N طول روز و π برابر ۳/۱۴۱۶ است. ضرایب لازم برای مدل فائو و مقادیر Bn و Yp که برابر IPP به ترتیب برای ذرت علوفه‌ای، دانه‌ای و بذری می‌باشد، محاسبه شد.

ETc با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه منطقه برای

تقویم‌های مختلف زراعی انواع ذرت محاسبه و در جدول‌های (۴)، (۵) و (۶) آمده است. کمینه و بیشینه کل زیست‌توده خالص ذرت علوفه‌ای برابر ۱۵/۹ و ۲۱/۷ تن در هکتار و به ترتیب مربوط به طول دوره رشد ۸۶ (تقویم ۶-F) و ۱۳۳ (تقویم ۱-F) روز است. به‌طورکلی، زیست‌توده خالص (Bn) ذرت علوفه‌ای با طولانی‌شدن طول دوره رشد افزایش یافته است (جدول ۴). تقویم ۶-F کشت دوم تأخیری داشته که مربوط به یک مزرعه استیجاری است و تقویم ۱-F بیش‌ترین طول دوره رشد را دارد و براساس بررسی انجام‌شده کشت با این تقویم در این منطقه معمول نیست، اگرچه که تقویم پیشنهادی نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) است.

برای ذرت علوفه‌ای، دانه‌ای و بذری بود به‌همراه مقادیر ETo در هر تقویم برای سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در جدول (۲) آمده است. این جدول دامنه وسیع تاریخ‌های کاشت و برداشت و ETo را برای هر نوع ذرت نشان می‌دهد. مقدار ETo در طول دوره رشد انواع ذرت به‌ویژه ذرت علوفه‌ای بسیار متأثر از تقویم زراعی انتخاب شده بود و درنهایت اثر آن به ETo و PCWP منتقل خواهد شد. ریز مشخصات پنج مزرعه مورد مطالعه شامل تقویم زراعی، روش آبیاری، طول دوره رشد، عملکرد، مساحت و نوع مدیریت در جدول (۳) آمده است. از نظر عملکرد، مزارع کشت و صنعت بهترین و مزرعه بخش دولتی بدترین شرایط را دارد. ضرایب مدل فائو برای محاسبه عملکرد پتانسیل در

جدول ۲. تقویم‌های مختلف زراعی استفاده‌شده برای مزارع ذرت علوفه‌ای، دانه‌ای و بذری

نوع ذرت	کشت	ماخذ تقویم	کد تقویم	کاشت (Month/Day)	برداشت (Month/Day)	ETo (mm)
ذرت علوفه‌ای	کشت اول	سند ملی آب (Netwat)	۱ - F	۱۲/۲۱	۴/۳۱	۵۳۶
		پژوهش حاضر	۲ - F	۲/۱۵	۵/۱۶	۴۸۴
	کشت دوم	(1997) Farshi et al.	۳ - F	۴/۱۵	۷/۵	۳۹۰
		پژوهش حاضر	۴ - F	۳/۲۵	۶/۱۶	۴۵۶
		P5-F	۵ - F	۴/۱	۷/۱۵	۵۰۰
		Salemi	۶ - F	۵/۵	۷/۲۸	۳۱۱
		Arjangi	۷ - F	۴/۱۰	۷/۱۲	۴۴۲
ذرت دانه‌ای	کشت اول	سند ملی آب (Netwat)	۱ - G	۲/۱	۶/۲۰	۶۸۸
		پژوهش حاضر	۲ - G	۲/۱۵	۶/۱۵	۶۳۰
	کشت دوم	پژوهش حاضر	۳ - G	۳/۲۵	۸/۱۵	۵۷۲
		Lys	۴ - G	۴/۲	۸/۲۰	۵۳۶
ذرت بذری †		پژوهش حاضر	۱ - S	۲/۱۵	۷/۱۵	۷۱۴
		P5-S	۲ - S	۲/۲۲	۶/۱۵	۶۰۶

† در مأخذهای موجود برای تقویم زراعی ذرت، تقویمی برای ذرت بذری پیشنهاد نشده است.

جدول ۳. مشخصات عمومی مزارع مورد مطالعه

مزرعه	نوع مدیریت	مساحت (ha)	روش آبیاری	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	طول دوره رشد	عملکرد (Kg.ha ⁻¹)
P5-F	کشت و صنعت پارس	۱۷	بارانی - ستریپوت	۱۳۹۵/۴/۱	۱۳۹۵/۷/۱۵	۱۰۸	۶۶۵۸۲
Salemi	کشاورز - مستاجر	۹/۷	سطحی - فارویی	۱۳۹۵/۵/۵	۱۳۹۵/۷/۲۸	۸۶	۴۲۶۷۰
Arjangi	کشاورز - مالک	۱/۵	سطحی - فارویی	۱۳۹۵/۴/۱۰	۱۳۹۵/۷/۱۲	۹۶	۳۳۷۵۰
Lys	دولتی	۱/۴	سطحی - فارویی	۱۳۹۵/۴/۲	۱۳۹۵/۸/۲۰	۱۴۲	۲۱۲۱
P5-S	کشت و صنعت پارس	۱۷	بارانی - ستریپوت	۱۳۹۵/۲/۲۲	۱۳۹۵/۶/۱۵	۱۱۸	۴۴۷۷

بررسی اثر تقویم زراعی بر پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) ذرت در دشت مغان

جدول ۴. ضرایب محاسبه‌شده برای تعیین پتانسیل تولید با مدل فائو در تقویم‌های مختلف زراعی ذرت علوفه‌ای

۷-F	۶-F	۵-F	۴-F	۳-F	۲-F	۱-F	ضرایب مدل فائو
۶۵	۶۵	۶۵	۹۵	۶۵	۶۵	۵۶/۵	Pm: حداکثر میزان فتوسنتز برگ ($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
۲۲۵	۲۲۵	۲۲۵	۲۲۵	۲۲۵	۲۲۵	۱۸۲/۵	y: درصد افزایش (+) یا کاهش (-) مقدار Pm از مقدار $20 \text{ kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
۴۴۴/۵	۴۰۴/۸	۴۴۶	۴۷۵/۶	۴۴۸/۵	۴۹۱/۷	۴۵۶/۵	bc: حداکثر میزان کل تولید زیست‌توده ناخالص در هوای صاف ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
۲۳۲/۵	۲۰۹/۱	۲۳۳/۶	۲۵۰/۸	۲۳۴/۸	۲۵۹/۹	۲۳۹/۵	bo: حداکثر میزان کل تولید زیست‌توده ناخالص در هوای ابری ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۵	۰/۵۲	f: نسبت روزهایی که هوا ابری است.
۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۵	۰/۴۸	(1-f): نسبت روزهایی که هوا صاف است.
۶۶۵/۹	۶۱۸/۵	۷۰۸/۳	۷۳۰/۴	۷۰۱/۱	۷۰۷/۷	۵۹۰/۲	bgm: حداکثر تولید زیست‌توده ناخالص ($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
۰/۰۰۸۸۳	۰/۰۰۷۷۶	۰/۰۰۹۱۵	۰/۰۰۹۸۴	۰/۰۰۹۵۴	۰/۰۰۸۲۸	۰/۰۰۵۹۵	Ct: ضریب تنفس
۹۶	۸۶	۱۰۸	۸۵	۸۴	۹۵	۱۳۳	L: تعداد روز تا رسیدن (یا برداشت) محصول
۱۷۴۶۰/۷	۱۵۰۹۱/۶	۲۰۳۰۶/۴	۱۶۹۹۷	۱۶۲۴۱/۷	۱۸۵۹۹/۵	۲۱۶۹۱/۲	Bn: میزان کل تولید زیست‌توده خالص ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

جدول ۵. ضرایب محاسبه‌شده برای تعیین پتانسیل تولید با مدل فائو در تقویم‌های مختلف زراعی ذرت دانه‌ای

۴-G	۳-G	۲-G	۱-G	ضرایب مدل فائو
۶۳	۶۴	۶۵	۶۵	Pm: حداکثر میزان فتوسنتز برگ ($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
۲۱۵	۲۲۰	۲۲۵	۲۲۵	y: درصد افزایش (+) یا کاهش (-) مقدار Pm از مقدار $20 \text{ kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
۴۰۸/۴	۴۱۹/۴	۴۸۰/۳	۴۷۳/۱	bc: حداکثر کل تولید زیست‌توده ناخالص هوای صاف ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
۲۱۱	۲۱۷/۵	۲۵۳/۴	۲۴۹/۳	bo: حداکثر کل تولید زیست‌توده ناخالص هوای ابری ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
۰/۵	۰/۵	۰/۴۷	۰/۴۸	f: نسبت روزهایی که هوا ابری است.
۰/۵	۰/۵	۰/۵۳	۰/۵۲	(1-f): نسبت روزهایی که هوا صاف است.
۵۷۶/۶	۵۹۷/۶	۷۱۵/۶	۶۹۷/۹	bgm: حداکثر تولید زیست‌توده ناخالص ($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
۰/۰۰۶۸۳	۰/۰۰۷۲۲	۰/۰۰۸۸۴	۰/۰۰۸۳۰	Ct: ضریب تنفس
۱۴۲	۱۴۵	۱۲۵	۱۴۴	L: تعداد روز تا رسیدن (یا برداشت) محصول
۲۱۸۱۴	۲۲۷۳۷/۵	۲۳۱۹۸/۹	۲۵۶۱۰/۴	Bn: میزان کل تولید زیست‌توده خالص ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	HI: شاخص برداشت
۸۷۲۵/۶	۹۰۹۵	۹۲۷۹/۶	۱۰۲۴۴/۲	Y: عملکرد پتانسیل ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

جدول ۶. ضرایب محاسبه‌شده برای تعیین پتانسیل تولید با مدل فائو در تقویم‌های مختلف زراعی ذرت بذری

۲-S	۱-S	ضرایب مدل فائو
۶۵	۶۵	Pm: حداکثر میزان فتوسنتز برگ ($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
۲۲۵	۲۲۵	y: درصد افزایش (+) یا کاهش (-) مقدار Pm از مقدار $20 \text{ kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
۴۸۰/۳	۴۹۵/۶	bc: حداکثر کل تولید زیست‌توده ناخالص هوای صاف ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
۲۵۳/۴	۲۴۱/۲	bo: حداکثر کل تولید زیست‌توده ناخالص هوای ابری ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
۰/۴۲	۰/۴۶	f: نسبت روزهایی که هوا ابری است.
۰/۵۸	۰/۵۴	(1-f): نسبت روزهایی که هوا صاف است.
۷۴۷/۵	۶۸۹/۵	bgm: حداکثر تولید زیست‌توده ناخالص ($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
۰/۰۰۹۴۳	۰/۰۰۸۳۱	Ct: ضریب تنفس
۱۱۸	۱۵۶	L: تعداد روز تا رسیدن (یا برداشت) محصول
۲۲۸۴۳/۴	۲۶۸۹۳/۶	Bn: میزان کل تولید زیست‌توده خالص ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
۰/۳	۰/۳	HI: شاخص برداشت
۶۸۵۳	۸۰۶۸/۱	Y: عملکرد پتانسیل ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

هکتار در تقویم ۶-F رسیده است. به عبارتی با کاهش یک درصد در پتانسیل تولید اقلیمی در شرایط آبی (IPP)، ۱/۸ درصد در مقدار ETC صرفه‌جویی شده است.

با کاهش کم‌تر نهاده (تبخیر- تعرق گیاه ذرت در شرایط استاندارد (ETC)) نسبت به ستانده (پتانسیل تولید اقلیمی در شرایط آبی (IPP)) در تقویم‌های کشت دوم نسبت به کشت اول، شاخص بهره‌وری آب در تقویم‌های کشت دوم افزایش نشان داد. به طوری که میانگین PCWP از ۱۵/۳ کیلوگرم در مترمکعب در تقویم‌های کشت اول به ۱۸/۸ کیلوگرم در مترمکعب در تقویم‌های زراعی کشت دوم رسیده که ۲۳ درصد افزایش نشان می‌دهد (شکل ۱). حداکثر PCWP برابر ۲۷/۵ است که در تقویم ۶-F با دیرترین تاریخ کاشت (پنجم مردادماه) حاصل شده است. اگرچه که CPP حداقل نیز در این تقویم اتفاق افتاده اما کاهش ETC در طول دوره رشد آن به‌حدی بوده که باعث افزایش ۴۲/۵ درصد PCWP نسبت به بیش‌ترین مقدار قبل از خود شده است.

بنابراین از منظر PCWP برای تولید ذرت علوفه‌ای در درجه اول تقویم‌های کشت دوم بر کشت اول برتری دارد و در درجه بعدی در کشت دوم نیز کاشت تأخیری تا حدی که محصول متأثر از محدودیت‌های سرمازدگی و بارندگی پاییزه (به‌ویژه برف) نشود، توصیه می‌شود. با توجه به متوسط کاهش ETC که برابر ۱۴۵ میلی‌متر در شرایط توصیه‌شده نسبت به کشت اول است، پتانسیل نیاز آبی ذرت علوفه‌ای برابر ۱۴۵۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافته و لذا تخصیص و تحویل آب به مزارع نیز باید به تناسب اصلاح شود. بنابراین در عمل ضمن ارتقای PCWP، آب مازاد ذخیره شده و به شکل مناسب قابل مدیریت و برنامه‌ریزی در تولید خواهد بود.

عملکرد پتانسیل ذرت دانه‌ای در چهار تقویم زراعی از ۸/۷ تا ۱۰/۲ تن در هکتار متغیر بود (جدول ۵). که براساس اطلاعات آمده در جدول (۲) این تغییر ۱۷ درصدی متأثر از طول دوره رشد و تاریخ کاشت در هر تقویم است. حداقل عملکرد برآوردشده نیز بیش‌تر از عملکرد گزارش‌شده توسط Fatehi et al. (2007) با مدل فائو برای ذرت دانه‌ای بود که حکایت از تناسب اقلیمی بهتر این منطقه و تقویم‌های انتخاب‌شده نسبت به منطقه مورد مطالعه آن‌ها دارد.

پتانسیل عملکرد ذرت بذری برای تقویم پیشنهادی این پژوهش (۱-S) برابر ۸/۱ تن در هکتار و ۱۹ درصد بیش‌تر از تقویم واقعی استفاده شده در مزرعه P5-S (۲-S) است (جدول ۶). اگرچه که پژوهش برای برآورد عملکرد پتانسیل ذرت بذری با مدل فائو یافت نشد، اما با توجه به تفاوت هفت روز در تاریخ کاشت ذرت بذری در دو تقویم تفاوت یک‌ماهه در تاریخ برداشت زیاد به نظر می‌رسد.

در جدول‌های (۷)، (۸) و (۹) به ترتیب مقادیر زیست‌توده شش تقویم زراعی ذرت علوفه‌ای، چهار تقویم ذرت دانه‌ای و دو تقویم زراعی ذرت بذری آمده است. تبخیر- تعرق گیاه ذرت در شرایط استاندارد (ETC) برای هر تقویم زراعی و همین‌طور ETC گزارش شده توسط Farshi et al. (1997) و نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) در صورت وجود، در جدول‌های (۷) تا (۹) آمده است. در جدول (۷) متوسط مقدار ETC تقویم‌های کشت دوم نسبت به کشت اول ۲۷/۷ درصد کاهش یافته است و از حداکثر ۴۶۶ میلی‌متر در تقویم ۲-F به حداقل ۱۹۴ میلی‌متر در تقویم ۶-F رسیده است. با این حال، متوسط پتانسیل تولید اقلیمی در شرایط آبی (IPP) تقویم‌های کشت دوم نسبت به کشت اول ۱۵/۳ درصد کاهش یافته و از حداکثر ۷۶۷۸۶/۸ کیلوگرم در تقویم ۱-F به حداقل ۵۳۴۲۴/۳ کیلوگرم در

بررسی اثر تقویم زراعی بر پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) ذرت در دشت مغان

جدول ۷. پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) تقویم‌های مختلف زراعی برای ذرت علوفه‌ای

کد تقویم	ماخذ	نوع کشت	IPP (kg.ha ⁻¹)		Etc (mm)		PCWP (kg.m ⁻³)	
			Bn	Y	پژوهش	مأخذ	Etc پژوهش	Etc مأخذ
۱-F	سند ملی آب (Netwat)	اول	۷۶۷۸۶/۸	۱۰۵۴۲	۴۶۵	-	۱۶/۵	-
۲-F	تحقیق حاضر	اول	۶۵۸۴۲/۲	۹۵۴۹/۴	۴۶۶	۱۴/۱	-	-
۳-F	(1997) Farshi et al.	دوم	۵۷۴۹۵/۶	۹۳۵۹/۴	۳۳۲	۱۷/۳	۱۳/۸	-
۴-F	تحقیق حاضر	دوم	۶۰۱۶۹/۴	۸۹۷۹/۳	۳۷۲	۱۶/۲	-	-
۵-F	P5-F	دوم	۷۱۸۸۴/۷	۷۰۵۲/۲	۳۸۳	۱۸/۸	-	-
۶-F	Salemi	دوم	۵۳۴۲۴/۳	۷۰۵۲/۲	۱۹۴	۲۷/۵	-	-
۷-F	Arjangi	دوم	۶۱۸۱۰/۹	۸۹۷۹/۳	۳۲۱	۱۹/۳	-	-

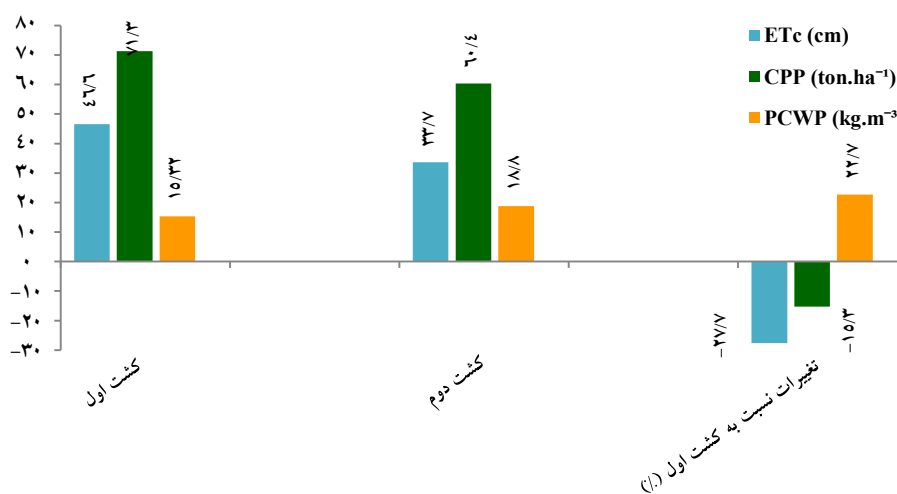
جدول ۸. پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) تقویم‌های مختلف زراعی برای ذرت دانه‌ای

کد تقویم	ماخذ	نوع کشت	IPP (kg.ha ⁻¹)		Etc (mm)		PCWP (kg.m ⁻³)	
			Bn	Y	پژوهش	مأخذ	Etc پژوهش	Etc مأخذ
۱-G	سند ملی آب (Netwat)	اول	۹۰۶۶۸	۱۰۵۴۲	-	۶۴۱	۱/۶	-
۲-G	تحقیق حاضر	اول	۸۲۱۲۴	۹۵۴۹/۴	۶۰۰	-	۱/۶	-
۳-G	تحقیق حاضر	دوم	۸۰۴۹۱	۹۳۵۹/۴	۴۵۸	-	۲	-
۴-G	Lys	دوم	۷۷۲۲۲	۸۹۷۹/۳	۵۴۹	-	۱/۶	-

جدول ۹. پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) تقویم‌های مختلف زراعی برای ذرت بذری †

کد تقویم	ماخذ	نوع کشت	IPP (kg.ha ⁻¹)		Etc (mm)	PCWP (kg.m ⁻³)
			Bn	Y		
۱-S	تحقیق حاضر	اول	۹۵۲۰۳	۹۳۰۲/۶	۶۶۵	۱/۲
۲-S	P5-S	اول	۸۰۸۶۶	۷۰۵۲/۲	۵۲۰	۱/۴

† نیاز آبی ذرت بذری توسط (1997) Farshi et al. و نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) ارائه نشده است.



شکل ۱. مقایسه شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) و اجزای آن در کشت اول و دوم ذرت علوفه‌ای

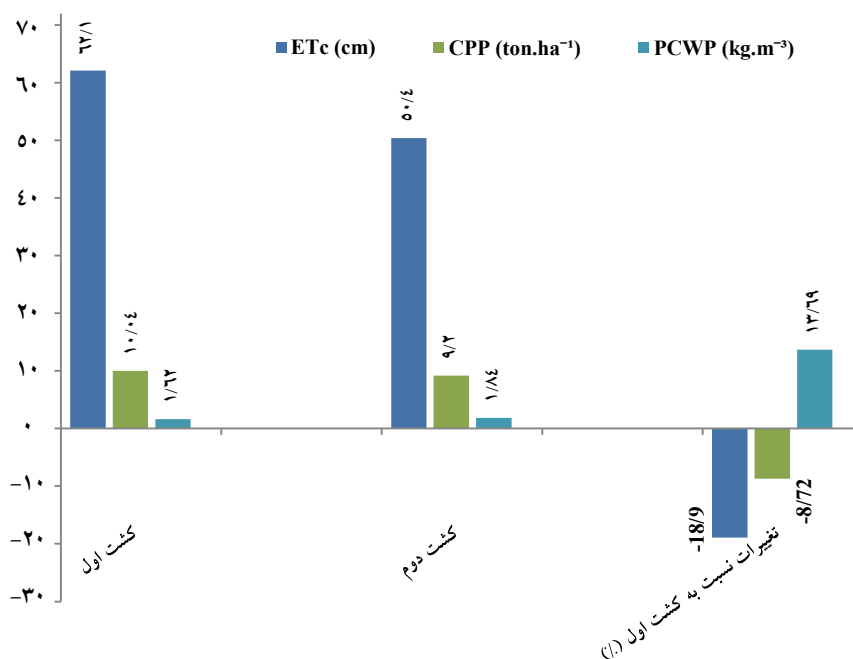
مواجه می‌شود، لذا ریسک خسارت به محصول افزایش می‌یابد.

بنابراین تقویم‌های زراعی کشت اول برای ذرت دانه‌ای توصیه می‌شود. در مصاحبه با تعدادی از ذرت‌کاران و کارشناسان منطقه مشخص شد که معمولاً در کشت دوم ذرت دانه‌ای برای کاهش ریسک خسارت سرما و بارش، تراکم کاشت را بیش‌تر می‌گیرند (حدوداً متوسط دانه‌ای و علوفه‌ای) تا در صورت مواجهه با شرایط آب‌وهوایی نامناسب، برداشت ذرت را به‌صورت علوفه‌ای انجام دهند. به هر حال برای کاهش ریسک خسارت و داشتن عملکرد و شاخص PCWP مناسب، تاریخ کاشت دیرتر از تقویم زراعی ۳-G برای ذرت دانه‌ای توصیه نمی‌شود.

مقادیر IPP، ETc و PCWP ذرت بذری در دو تاریخ کشت (که هر دو از نوع کشت اول است) در جدول (۹) آمده است. متوسط آن‌ها به‌ترتیب برابر ۸۱۷۷ کیلوگرم در هکتار، ۵۸۷ میلی‌متر و ۱/۳ کیلوگرم در مترمکعب است.

جدول (۸) نشان می‌دهد که متوسط IPP در تقویم‌های زراعی کشت اول و دوم ذرت دانه‌ای به‌ترتیب برابر ۱۰۰۴۵/۶ و ۹۱۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار دانه است. عملکرد کشت دوم نسبت به کشت اول ۸/۷ درصد کاهش نشان می‌دهد. هم‌چنین متوسط ETc با ۱۸/۹ درصد کاهش از ۶۲۰/۵ در کشت اول به ۵۰۳/۵ میلی‌متر در کشت دوم رسیده است. پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) از متوسط ۱/۶ در کشت اول به ۱/۸ کیلوگرم در مترمکعب در کشت دوم ارتقا یافته است. اگرچه که ستانده کشت دوم نسبت به کشت اول (IPP) کاهش ۸/۷ درصدی داشته ولی به دلیل کاهش شدیدتر نهاده (ETc) در کشت دوم (۱۸/۹ درصد)، شاخص PCWP افزایش ۱۳/۷ درصدی داشته است (شکل ۲).

در مجموع، با وجود افزایش PCWP در کشت دوم از آنجاکه در کشت دوم تاریخ برداشت در اواخر مهرماه تا دهه دوم آبان‌ماه قرار می‌گیرد و با افزایش رطوبت، بارش‌های پاییزه و کاهش دمای انتهای فصل در منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. مقایسه شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) و اجزای آن در کشت اول و دوم ذرت دانه‌ای

اراضی (از جمله زهدارشدن اراضی در منطقه) و افزایش تلفات در سایر منابع (مانند کود و غیره) نیز خواهد شد. از نظر فنی امکان اصلاح مقادیر ETC متناسب با تقویم زراعی واقعی در فصل موردنظر در Farshi *et al.* (1997) با توجه به وجود اطلاعات پایه لازم وجود دارد، اما انجام آن برای نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) به دلیل عدم ارائه اطلاعات پایه در آن، وجود ندارد. WP ارائه‌شده بر مبنای ETC مأخذ در این جدول معادل WP محاسبه‌شده در منابعی مانند Farshi *et al.* (2003) و Azizi Zohan *et al.* (2014) است که در آن ستانده واقعی و نهاده پتانسیل به‌کار رفته است. در WP ارائه‌شده بر مبنای ETC برآورد شده در این پژوهش اگرچه که مقدار ETC متناسب با شرایط اقلیمی فصل زراعی اصلاح شده است، اما هم‌چنان تولید واقعی و آب مصرفی پتانسیل است. لذا، از آنجاکه نهاده متناسب با ستانده اصلاح نشده، مقدار WP کم‌تر از واقعیت بوده و هرچه که تفاوت Ya و IPP بیش‌تر باشد، برآورد انجام‌شده برای WP نیز کم‌تر خواهد بود. کاهش WP بر مبنای ETC پژوهش (WP₁) نسبت به PCWP که در آن ستانده و نهاده متناسب با هم استفاده شده برابر ۱/۴، ۵/۵، ۸/۸، ۱/۲ و ۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌ترتیب برای تقویم‌های ۵-F، ۶-F، ۷-F، ۸-F، ۹-F و ۱۰-F است. این تفاوت ناشی از اصلاح‌نشدن ETC متناسب با کاهش تولید واقعی نسبت به پتانسیل تولید اقلیمی در شرایط آبی (IPP) است. در WP بر مبنای ETC مأخذ (WP₂) به دلیل این‌که ETC متناسب با فصل و تقویم زراعی اصلاح‌نشده تفاوت آن با PCWP بیش‌تر شده است.

با توجه به طولانی‌بودن طول دوره رشد ذرت بذری و حساسیت بالای آن در انتهای فصل به درصد رطوبت و بارندگی امکان زراعت آن به‌صورت کشت دوم در منطقه وجود ندارد. به‌دلیل هزینه بالا در واحد سطح و نیاز به ارتقای کیفیت بذر تولیدی، توصیه می‌شود که نهاده آب در حد پتانسیل موردنیاز برای گیاه تأمین شده و جهت کاهش احتمال خسارت در انتهای فصل تاریخ کاشت پیشنهادی در تقویم S-1 رعایت شود.

در جدول (۱۰) عملکرد واقعی (Ya)، ETC واقعی برای سال مورد مطالعه و مأخذ (Farshi *et al.* 1997) و نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) و WP بر مبنای عملکرد واقعی برای پنج مزرعه (۵-F، ۶-F، ۷-F، ۸-F، ۹-F و ۱۰-F) آمده است. Ya مزارع به‌ترتیب برابر ۹۳، ۸۰، ۵۵، ۲۴ و ۶۳ درصد مقدار IPP محاسبه‌شده برای تقویم زراعی آن‌هاست. متناسب با تاریخ کاشت و طول دوره رشد در هر مزرعه بین ETC واقعی و ETC مأخذ از ۳۵ تا ۲۲۴ میلی‌متر تفاوت وجود دارد. این نشان می‌دهد که ملاک تخصیص آب و برنامه‌ریزی آبیاری باید ETC متناسب با تقویم زراعی بوده و در صورت استفاده از مقادیر ارائه‌شده در Farshi *et al.* (1997) یا نرم‌افزار Netwat (Anonymous, 2002) باید آن‌ها را متناسب با تقویم زراعی واقعی در فصل موردنظر اصلاح کرد. در غیر این‌صورت تخصیص و مصرف آب مازاد بر نیاز بوده و یا متناسب با زمان موردنیاز گیاه نخواهد بود. مصرف آب اضافی و بی‌موقع علاوه بر هدردادن آب باعث تخریب

جدول ۱۰. بهره‌وری آب (WP) مزارع ذرت مورد مطالعه بر مبنای ETC و عملکرد واقعی

WP (kg.m ⁻²)		ETC (mm)		Ya (kg.ha ⁻¹)	نوع ذرت	مزرعه	کد تقویم
WP ₂	WP ₁	مأخذ (۲)	پژوهش (۱)				
۱۵/۹	۱۷/۴	۴۱۸	۳۸۳	۶۶۵۸۲	علوفه‌ای-۲	P5-F	۵-F
۱۰/۲	۲۲	۴۱۸	۱۹۴	۴۲۶۷۰	علوفه‌ای-۲	Salemi	۶-F
۸/۱	۱۰/۵	۴۱۸	۳۲۱	۳۳۷۵۰	علوفه‌ای-۲	Arjangi	۷-F
۰/۳۳	۰/۳۹	۶۴۱	۵۴۹	۲۱۲۱	دانه‌ای-۲	Lys	۴-G
--	۰/۸۶	--	۵۲۰	۴۴۷۷	بذری	P5-S	۲-S

۴. نتیجه گیری

به طور کلی، شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) اثر عوامل ذاتی موقعیت جغرافیایی، اقلیم و گیاه را بر بهره‌وری فیزیکی آب کمی می‌سازد. در این شاخص ستانده و نهاده به ترتیب پتانسیل تولید اقلیمی در شرایط آبی (IPP) و پتانسیل تبخیر-تعرق گیاه در شرایط استاندارد (ETc) است که باید متناسب با هم و متناسب با دوره رشد گیاه در نظر گرفته شود. از جمله عوامل مهم که بر مقدار شاخص PCWP اثر می‌گذارد تقویم زراعی اعمال شده برای محصول است که ستانده و نهاده را متأثر می‌سازد. در منابع مختلف تقویم‌های مختلفی برای زراعت انواع ذرت پیشنهاد شده است. تغییر تقویم زراعی بر طول دوره رشد، پتانسیل تولید ذرت و پتانسیل تبخیر-تعرق گیاه (ETc) مؤثر است. نسبت تغییرات ایجاد شده در IPP و ETc با تغییر تقویم زراعی یکسان نبوده و با در نظر گرفتن آن‌ها به تنهایی نمی‌توان در خصوص مؤثر بودن تغییر تقویم زراعی بر بهره‌وری آب قضاوت کرد. شاخص PCWP اثر تغییرات IPP و ETc را به طور همزمان لحاظ می‌کند و برای قضاوت در خصوص ارزیابی تقویم‌های مختلف زراعی، شاخص مناسبی است.

از منظر شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) برای ذرت علوفه‌ای تقویم‌های کشت دوم (دهه سوم خردادماه تا نیمه تیرماه) در منطقه نسبت به کشت اول توصیه می‌شود. اما برای ذرت دانه‌ای اگرچه در سال انجام آزمایش تقویم زراعی کشت دوم بهتر بود ولی با توجه به افزایش ریسک خسارت محصول در انتهای فصل، تقویم زراعی کشت اول توصیه شده و کاشت دیرتر از دهه سوم خردادماه (3-G) توصیه نمی‌شود. برای کاهش ریسک خسارت ذرت دانه‌ای در کشت دوم با تاریخ کاشت بعد از دهه سوم خردادماه لحاظ تراکم کاشت بیش‌تر از تراکم معمول ذرت دانه‌ای پیشنهاد می‌شود، تا در صورت مواجهه با شرایط آب‌وهوایی نامساعد در انتهای فصل، برداشت ذرت

به صورت علوفه‌ای انجام شود. با توجه به ویژگی‌های زراعی و اقتصادی ذرت بذری، طول دوره رشد و حساسیت آن در انتهای فصل به درصد رطوبت و بارش، از منظر شاخص پتانسیل بهره‌وری آب اقلیمی (PCWP) زراعت ذرت بذری به صورت کشت اول و با تاریخ کاشت دهه دوم اردیبهشت‌ماه توصیه می‌شود. برای ذرت بذری تأمین دوم نهاده آب در حد پتانسیل نیاز گیاه و اجتناب از کم‌آبایی توصیه می‌شود.

برای نزدیک شدن WP به PCWP مشروط به این‌که ویژگی‌های خاک محدودیت ایجاد نکند، تخصیص آب و برنامه‌ریزی آبیاری باید متناسب با ETc تعیین یا اصلاح شده برای تقویم زراعی واقعی در دوره رشد باشد. در مدیریت آبیاری اصلاح ETc متناسب با کاهش تولید واقعی نسبت به IPP، لازم است. پیشنهاد می‌شود تخصیص و تحویل آب به مزارع ذرت بر مبنای تقویم زراعی در دستور کار نهادهای ذریب‌قرار گرفته و عملیاتی شود.

۵. تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای تأمین اعتبار این پژوهش از محل پروژه شماره ۹۶۹۶۱۱۳۸-۹۶-۱۰-۱۰-۲ مؤسسه، هم‌چنین از آقایان دکتر ناصر دوانگر معاون پژوهش و انتقال یافته‌های مؤسسه تحقیقات خاک و آب، مهندس انور اسدی جلودار عضو هیأت علمی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی مغان، مهندس امانی مدیر واحد پنج کشت و صنعت پارس دشت مغان و سرکار خانم مهندس سمانه پورمنصور کارشناس مؤسسه تحقیقات خاک و آب که در اجرای این پژوهش همکاری صمیمانه داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Ahmadi Adli, R. (2007). Determination potential evapotranspiration of corn by lysimetric method in Moghan. Final Report of the Research Project. Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. 33 pp. (In Persian)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper n. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Anonymous. (2002). Net irrigation requirements of crops and garden (NetWat software). Ministry of Agriculture Jihad and Iranian Meteorological Organization.
- Anvari, K., Arefi, S., & Fateh, M. (2012). Effect of planting date on seed yield and yield components of corn differently hybridized hybrids. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(4), 368-377. (In Persian)
- Azizi Zohan, A. A., Liaghat, A. M., & Shahabifar, M. (2020). Definition and Determination of Water Productivity Management Index (WPMI) and its application for forage maize in Moghan plain. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sci)*, 33(4), 519-534. (In Persian)
- Azizi Zohan, A. A., Shahabifar, M., Ebrahimi pak, N. A., Razavi, R., Ghalebi, S., Sarei Tabrizi, M., Toluei, R., & Piri, R. (2014). Evaluation of wheat water use efficiency in Iran and worldwide. First National Conference on Soil and Water Management in Wheat Production. Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. (In Persian)
- Bafkar, A., Farhadi, B., & Karimi, A. R. (2013). Estimation of crop coefficients (Kc) of grain corn S.C. 704 Using the physiological properties (case study: Kermanshah-mahidasht). *Journal of Water and Soil*, 27(4), 832-838. (In Persian)
- Beheshti, A. R., Darkhal, H., Sadeghi, H., Shiri, M., & Jafariyani, M. (2007). The effect of planting date on material allocation in canopy of hybrid maize cultivars. Final Report of the Research Project. Publication No. 86/1138, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. 80 pp. (In Persian)
- Estakhr, A., & Dehghanpour, Z. (2010). Determination of the suitable planting date for new early maturity maize hybrids in second cropping in temperate regions in fars province. *Seed and Plant Production Journal*, 26(2), 169-191. (In Persian)
- Etedali, S., Givi, J., & Nouri, A. (2012). Comparison between land production potential prediction for maize, Using FAO and wageningen models and assessment of management level for its cultivation around shahrekord city. *Journal of Water and Soil*, 26, 873-885. (In Persian)
- Farshi, A. A., Kheirabi, J., Siadat, H., Mirlatifci, M., Darbandi, S., Salamat, A. R., Entesari, M. R., & Sadat, M. H. (2003). On-farm irrigation water management. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). Report 76. 200 pp. (In Persian)
- Farshi, A. A., Shariati, M. R., Jarollahi, R., Ghaemi, M. R., Shahabifar, M., & Tavalaei, M. M. (1997). Estimating water requirement for major crops and gardens of Iran, Volume I. Soil and Water Research Institute (SWRI) Publishing, Karaj, Iran. (In Persian)
- Fatehi, Sh., Ghaderi, J., & Seyed jalali, S. A. R. (2007). Evaluation of land suitability and determination of production potential for maize in Kermanshah plain. 10th Soil Science Congress of Iran. (In Persian)
- Galebi, S. (2017). Investigation different irrigation managements role on water use efficiency in Maize farms (case study: Ghazvin). Final report of the research project. Publication No. 2057, Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. 60 pp. (In Persian)
- Givi, J. (1997). Qualitative evaluation of land suitability for crops and orchards. Technical publications n 1015. Soil and Water Research Institute (SWRI). 100 pp. (In Persian)
- Heidary, N. (2011). Determination and evaluation of water use efficiency of crops, managed by farmers. *Journal of Water Management and Irrigation*, 2, 43-57. (In Persian)
- Izadfar, A., Jahansou, M. R., Sarmadian, F., Peykani, G. R., & Chaichi, M. R. (2017). Optimum sowing data determination based on historical climate data using aquacrop growth simulator model in moghan plain Ardabil province Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(3), 799-810. (In Persian)
- Khaghani, R. (2010). Comparison between FAO and wageningen models production potential prediction for wheat, for its cultivation around marand region. Eleventh Congress of Soil Science, Soil management and Food Security. p.98. (In Persian)
- Khayamim, S., & Fathelah Taleghani, D. (2008). Review of agronomical calendar research on sugar beet in Iran. *Journal of Sugar Beet*, 24(1), 121-124. (In Persian)
- Khazaei, E., Zakerinia, M., Dehghani Sanij, H., Hezarjeribi, A., & Hesam, M. (2013). Application of online meteorological station in farm for calculating maize real-time water requirement and its effect on increasing water use efficiency in saveh city region. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(2), 143-159. (In Persian)

- Mashayekhi, F., & Torabi, H. (2014). Evaluation of qualitative and quantitative land suitability for main crops in Khoda afarin region, Moghan plain. M.S Thesis. Faculty of Agriculture Shahed University. (In Persian)
- Ministry of Agriculture Jihad. (2017). Agricultural statistics, Volume I: Crops, 2015–2016 crop year. Information Technology Center, Deputy of Planning and Economics, Ministry of Agriculture Jihad, Tehran, 117 pp.
- Ministry of Agriculture. (1994). Calendar agricultural crops. Deputy of Planning and Support of the General Directorate of Statistics and Information. Publication No. 21. 40 pp.
- Shariati, M. R., Sabagh Farshi, A. R., & Khajenoori, A. (1993). Determination of potential water consumption and crop coefficient of corn. Final Report of the Research Project. Publication No. 902, Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran. 12 pp. (In Persian)
- Shiri, M. R., Moharramnejad, S., Hanifezadeh, M., & Bandehhagh, A. (2016). Evaluation of yield stability of maize (*Zea mays* L.) influenced by planting data in moghan region. *Journal of Agricultural Science*, 26(2), 203-214. (In Persian)
- Sobhani, B., & Omidzada, H. (2013). A Study of the role of temperature and precipitation climatic elements in preparation of corn crop calendar in khorramabad City. The 2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling. Kerman. Iran. (In Persian)
- Sys, C., Van Ranst, E., & Debaveye, J. (1991a). Land evaluation part I, Principles in land evaluation and crop production calculation. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publications n.7, Brussels, Belgium. 274 pp.
- Sys, C., Van Ranst, E., & Debaveye, J. (1991b). Land evaluation, part II: Methods in land evaluation. General administration for development cooperation. Agricultural Publications n.7, Brussels, Belgium. 247 pp.
- Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J., & Beernaert, F. (1993). Land evaluation. Part III. Crop requirements. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publication n. 7, Brussels-Belgium. 199 pp.
- Toscano, P., Ranieri, R., Matese, A., Vaccari, F. P., Gioli, B. A., Zaldea, M., Silvestri, C., Ronchi, P., & La Cava, J. R. (2012). Durum wheat modeling: The Delphi system, 11 years of observations in Italy. *European Journal of Agronomy*, 43, 108-118.
- Yadollahi Noshabadi, S. J., Jahansuz, M. R., Majnoun Hosseini, N., & Peykani, Gh. R. (2017). Evaluation of hashtgerd area land for major crops production ability by FAO method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 25-38. (In Persian)
- Zwart, S. J., & Bastiaanssen, G. M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69, 115-133.