نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۷۹۵-۷۸۱

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 781-795

مقاله علمی-پژوهشی

برآورد نیاز آبی مراحل مختلف فنولوژیک گیاه کلزا در دو اقلیم استان اصفهان

امیرهوشنگ جلالی[1*]- حمید رضا سالمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

چکیده

به منظور برآورد نیاز آبی گیاه کلزا در دو اقلیم (خشک- زمستان سرد با دمای بالای نقطه انجماد - تابستان گرم A-C-W) و (نیمه خشک- زمستان سرد با دمای برابر یا کمتر از صفر- تابستان گرم SA-K-W) در استان اصفهان، پژوهشی در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۴ با استفاده از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شد. بین شهرستان‌های مختلف تفاوت معنی‌داری (در سطح ۱٪) ازنظر کل آب مصرفی و همچنین نیاز آبی مراحل مختلف رشد فنولوژیک وجود داشت. در اقلیم SA-K-W (با ۱۰ شهرستان) نیاز خالص آبیاری کلزا ۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار برآورد شد. اختلاف بیشترین و کمترین نیاز آبی خالص در این اقلیم ۳۲۲ متر مکعب در هکتار و به ترتیب مربوط به شهرستان‌های فریدن و فریدون‌شهر بود. به‌طور متوسط نیاز آبی مراحل ابتدایی، توسعه و (میانی + پایانی) کلزا در اقلیم SA-K-W به ترتیب برابر ۴۵۰، ۲۱۸۷ و ۱۳۶۳ متر مکعب در هکتار بود. در اقلیم A-C-W (۱۲ شهرستان) نیاز آبی کلزا در هر هکتار ۸۹۲ متر مکعب بیش از نیاز آبی این محصول در اقلیم SA-K-W بود. به‌طور متوسط نیاز آبی مراحل ابتدایی، توسعه و (میانی + پایانی) کلزا در اقلیم A-C-W به ترتیب برابر ۵۴۰، ۲۱۵۰ و ۲۲۰۰ متر مکعب در هکتار بود. با توجه به نتایج، شهرستان‌های واقع در اقلیم SA-K-W نسبت به اقلیم A-C-W موقعیت مناسب‌تری برای کشت کلزا داشته و صرف‌نظر از شیوه آبیاری در هر هکتار حداقل ۴۰۰۰ متر مکعب آب برای این منظور نیاز است. با این وجود موفقیت کشت در این اقلیم به دلیل محدودیت طول دوره رشد مشروط به کشت به هنگام است.

واژه‌های کلیدی: مرحله ابتدایی رشد، مرحله توسعه رشد، عملکرد، نیاز آبی

مقدمه

در سال‌های اخیر کشت کلزا در ایران به‌عنوان یکی از دانه‌های روغنی مورد توجه قرار گرفته و در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶، بیش از ۱۹۰ هزار هکتار سطح کشت محصولات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است (۲). در سال ۲۰۱۸ میلادی ۱۴/۳ میلیون هکتار از اراضی زراعی آسیا به کشت این محصول اختصاص داده‌شده و عملکرد آن در هر هکتار ۱۸۲۲ کیلوگرم بوده است. در این سال متوسط عملکرد کشت آبی کلزا در ایران ۱۶۱۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (۸). عملکرد دانه و روغن کلزا به وجود منابع آب کافی در طول دوره رشد وابسته است. در نواحی مدیترانه‌ای با کشت پاییزه کلزا، وقوع دمای بالا در مراحل تشکیل و رشد دانه‌ها در بهار می‌تواند نیاز آبی این گیاه را افزایش داده و مدیریت آبیاری در این زمان در افزایش عملکرد گیاه حائز اهمیت است (۲۰). گیاه کلزا در مرحله خاتمه گلدهی و اوایل نیام دهی به دمای بالا حساسیت بیشتری داشته و از این نظر به حبوبات شبیه است (۱۷). در مناطق گرم دنیا مثل آفریقای جنوبی در طول دوره رشد کلزا بدون ایجاد تنش، به ۷۰۹ میلی‌متر آب آبیاری نیاز است و وقوع تنش در مرحله گل‌دهی، عملکرد دانه را از ۳۸۳۱ کیلوگرم در هکتار به ۱۳۶۱ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌دهد (۲۷).

با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه، نوع رقم و شرایط خاک ممکن است نیاز آبی کلزا متفاوت باشد. نیاز آبی کلزا در شرایط خوزستان ۴۰۰-۳۵۰ میلی‌متر (۱۳)، زنجان ۵۴۰ میلی‌متر (۵)، آذربایجان شرقی ۶۰۴ میلی‌متر (۷) و اصفهان ۵۷۸ میلی‌متر (۱۴) بیان شده است. تنش خشکی پایان فصل در شرایط آب و هوایی اهواز موجب کاهش عملکرد دانه‌ی کلزا از ۲۹۴۸ کیلوگرم در هکتار به ۱۳۴۵ کیلوگرم در هکتار شده است (۲۲). در مقایسه گیاه کلزا با گندم، مقدار رطوبت بحرانی در یک خاک لوم رسی برابر با ۰/۲۸ سانتی‌متر مکعب آب در یک سانتی‌متر مکعب خاک بوده و در خاک لومی شنی

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Jalali51@yahoo.com)
۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v34i4.81248

برای گندم ۰/۲۱ و برای کلزا ۰/۱۹۵ سانتی‌متر مکعب آب در سانتی‌متر مکعب خاک برآورد شده است (۱۹). در پژوهشی در استان بوشهر نیاز آبی کلزا در طول فصل رشد ۵۶۱ میلی‌متر محاسبه شده و حداقل ۱۰ نوبت آبیاری و در هر نوبت حدود ۵۰ میلی‌متر آب برای کشت این گیاه لازم بوده است (۲۲).

کارایی مصرف آب، نسبت ماده خشک تولیدشده در گیاه به تبخیر و تعرق است که برحسب گرم ماده خشک به کیلوگرم به میلی‌متر آب و یا کیلوگرم عملکرد به ازاء هر متر مکعب آب مصرفی بیان شده و زیاد بودن آن لزوماً به معنی مقاومت یا تحمل به خشکی نیست (۱). اگرچه نتایج متفاوتی از تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب گزارش شده است، اما اخیراً در پژوهشی ۷۹۲ مشاهده در زمینه تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب در گیاهان مختلف مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی کارایی مصرف آب به‌طور جزئی افزایش یافته و با انتخاب گیاهان مناسبی مثل کلزا می‌توان عملکرد و کارایی مصرف آب را هم‌زمان افزایش داد (۲۹). در پژوهشی در همدان کارایی مصرف آب کلزا در دو روش قطره‌ای و نشتی به ترتیب ۱/۰۹ و ۰/۶۳ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد (۱۱). در پژوهش دیگری در بهبهان کارایی مصرف آب به روش قطره‌ای نواری ۰/۸۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (۲۳).

اگرچه کشت کلزا در چند سال اخیر در استان‌های مختلف کشور همچون اصفهان رو به توسعه است اما اطلاعات دقیق در مورد تفکیک نیاز آبی این گیاه بر اساس مراحل فنولوژیک اندک است. پژوهش حاضر با تفکیک شهرستان‌های مختلف استان اصفهان به نواحی اقلیمی مختلف و با توجه به مراحل فنولوژیک گیاه کلزا، باهدف ارزیابی نیاز آبی مراحل رشدی این گیاه انجام شد. تاریخ کاشت کلزا با تاریخ کاشت غلاتی مثل گندم و جو تشابه داشته و زمانی که نیاز آبی غلات در اوج خود قرار دارد (حجیم شدن دانه‌ها) گیاه کلزا نیز در مراحل انتهایی گل‌دهی و اوایل نیام دهی است، بنابراین تعیین نیاز آبی کلزا بر اساس مراحل رشدی می‌تواند به کشاورزان در زمینه مدیریت منابع آب و تخصیص آن در تناوب‌های زراعی کمک قابل‌توجهی نماید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ انجام شد. سال اول پژوهش شامل جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌های اقلیمی درازمدت منطقه و سال دوم مرحله اجرایی پژوهش را شامل گردید. شهرستان‌های مختلف استان اصفهان که دارای کشت کلزا بودند نقاط هدف پژوهش بودند. نیاز آبی گیاه بر اساس تبخیر و تعرق مرجع و ضرایب گیاهی با در نظر گرفتن عوامل گیاه و خاک محاسبه شد. برای مشخص شدن زمان شروع و خاتمه هر مرحله فنولوژیک از نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو استفاده شد (۳). تاریخ و تراکم کاشت، تاریخ جوانه‌زنی، تاریخ رسیدگی و پیری، تاریخ گلدهی، طول دوره گلدهی و تاریخ برداشت از جمله مواردی بودند که در رابطه با عامل گیاهی یادداشت‌برداری شدند. با توجه به این که ضریب گیاهی پایه برای هر مرحله رشد در گزارش فائو ۵۶ ارائه شده، این ضرایب برای مناطق مختلف با توجه به سرعت باد و رطوبت نسبی و ارتفاع گیاه در هر منطقه اصلاح شد. با استفاده از آمار هواشناسی بلندمدت و با توجه به ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده و اطلاعات پروفیل‌های خاک موجود در منطقه و با استفاده از فرمول زیر نیاز آبی هر مرحله که درواقع همان تبخیر تعرق گیاه در شرایط آب و هوایی و مراحل رشد یک گیاه سالم در یک مزرعه‌ی بدون محدودیت آب است از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET\ crop=\sum (K_{cb}+K_{ei}) \times ET_{oi}$$

در فرمول فوق K_{cb} ضریب گیاهی پایه، K_{ei} ضریب تبخیر از خاک و ETo_i میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن–مانتیث- فائو محاسبه شد (۴). داده‌های هواشناسی این معادله با استفاده از داده‌های تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی در سطح استان در محیط یک صفحه گسترده (Excel) به صورت نقطه‌ای استفاده شد. داده‌های هواشناسی دخیل در این محاسبات و به دنبال آن عامل تبخیر و تعرق مرجع (ET_{oi}) به صورت مکان‌دار و رقومی در سامانه اطلاعات جغرافیایی نگهداری و پس از مدل‌سازی اقلیمی و تجزیه و تحلیل، نقشه‌های اقلیمی پهنه‌بندی شده به صورت رستری و گرافیکی تهیه شد. در نهایت با اعمال نمودن K_{cb} و K_{ei} (ضرایب گیاهی دو جزیی) در ET_{oi} نیاز خالص آبی گیاه محاسبه شد.

در این مطالعه عوامل مرتبط با خاک شامل وزن مخصوص ظاهری، رطوبت‌های حجمی (ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی) و بافت خاک مد نظر قرار داده شد. از اطلاعات مرتبط با خاک در محاسبه ضریب تبخیر از خاک (K_{ei}) استفاده شد که توصیف کننده جزء تبخیر در صفت (ET crop) است. در حقیقت K_{ei} مبنای محاسبه ضریب کاهش تبخیر از لایه سطحی (Kr) و کسر خاک خیس شده و در معرض هوا قرار گرفته (few) بوده و برای محاسبه آن وجود اطلاعات مرتبط با ویژگی‌های خاک ضروری است. برای محاسبه ویژگی‌های خاک علاوه بر نمونه‌گیری از مزارع موجود در پژوهش، از بانک اطلاعاتی ۱۶۰۰ پروفیل خاک موجود در بخش تحقیقات خاک و آب استان اصفهان نیز استفاده شد. نمونه‌ای از ویژگی‌های خاک برخی از شهرستان‌ها در جدول ۱ ارائه شده است (۲۴).

از نظر اقلیم و هواشناسی تجزیه‌وتحلیل داده‌های هواشناسی در مقیاس دهه‌ای انجام و موارد دما، بارش، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و تبخیر از تشتک از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۳ به‌عنوان معیار در نظر گرفته شد و با تهیه معادلات گرادیان (برداری که اندازه و

جهت حداکثر نرخ فضائی تغییر یک کمیت عددی را نمایش می دهد) برای داده‌های هواشناسی، میزان تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شد. اطلاعات آماری موردنیاز از ۲۸ ایستگاه هواشناسی سینئوپتیک و کلیماتولوژی موجود در استان اصفهان و برخی از استان‌های هم‌جوار کسب شد.

با استفاده از پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ایران با استفاده از روش یونسکو بر مبنای سه معیار اصلی طبقه‌بندی یعنی رژیم رطوبتی، تیپ زمستان و تابستان، ۲۸ پهنه اقلیمی در ایران قابل تشخیص می باشد که از این تعداد شش ناحیه بیش از ۹۰ درصد کشور را شامل می‌شود (۱۲). بر این اساس در استان اصفهان برای کشت کلزا دو پهنه اقلیمی اصلی قابل تشخیص است (جدول ۲) .

مراحل رشد گیاه در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارت بودند از مرحله ابتدایی که از تاریخ کشت شروع و تا نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد ادامه می‌یابد، مرحله توسعه از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد شروع و تا پوشش مؤثر کامل به طول می‌انجامد، مرحله میانی از زمان برقراری پوشش کامل مؤثر شروع و تا رسیدن محصول ادامه خواهد یافت و مرحله پایانی از زمان رسیدن محصول تا پلاسیدگی کامل گیاه طول می‌کشد (شکل ۱) (۱۸). این مراحل بر اساس نشریه ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو در نظر گرفته شدند (۳).

با توجه به این‌که مبنای محاسبه نیاز آبی در این پژوهش، اقلیم‌های مختلف بود و تعداد شهرستان‌های موجود در هر اقلیم نیز یکسان نبودند، برای تجزیه داده‌ها در هر اقلیم از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل (با تکرار نامساوی) استفاده و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۵ درصد) مقایسه شدند (۲۵). در طرح آزمایشی دو اقلیم A-C-W و SA-K-W به ترتیب دارای ۱۲ و۱۰ شهرستان بودند و در هر شهرستان ۳ مزرعه به‌عنوان شاخص آن ناحیه اقلیمی انتخاب شد. در حقیقت وقتی مبنای محاسبات اقلیم باشد (که هر اقلیم دارای چند شهرستان است) مزارع شاخص نقش نمونه‌های ما در هر اقلیم را بازی می‌کنند. ارقام کشت‌شده در دو اقلیم اوکاپی و اپرا بودند که مناسب کشت پاییزه هستند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شهرستان‌های مختلف مرتبط با کشت کلزا در دو اقلیم A-C-W و SA-K-W در استان اصفهان بیانگر تفاوت معنی‌دار مقادیر نیاز آبی خالص در هر هکتار و آب مصرفی در مراحل مختلف فنولوژیک در سطح آماری ۱ درصد بود (جدول ۳). بر این اساس مقایسه میانگین‌ها برای صفات نیاز آبی و آب مصرفی در مراحل مختلف فنولوژیک در هر اقلیم انجام شد.

جدول ۱- نمونه‌ای از ویژگی‌های خاک در چند شهرستان واقع در محدوده مطالعاتی

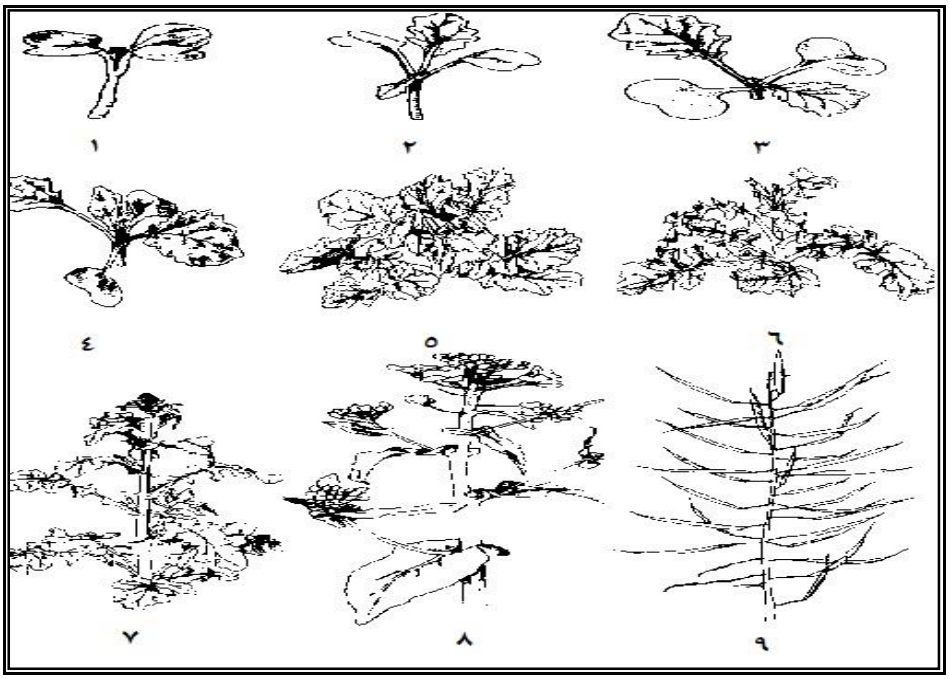
Table 1- Example of soil characteristics in several cities located in the study area

نام شهرستان City name	X Position	Y Position	Salinity (dSm^{-1})	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Θm (PWP)	Θm (FC)	AW
فریدن Freidan	449276	3650408	0.72	47.6	32.4	20	11.45	24.7	10.48
خوانسار Khansar	452354	3680334	0.83	18	42.0	40.0	11.54	19.75	8.21
گلپایگان Golpayegan	428147	3699654	0.36	27.6	40.4	32.0	12.66	20.32	7.67

جدول ۲- ویژگی‌های اقلیمی مناطق کشت کلزا در استان اصفهان

Table 2- Climatic characteristics of canola cultivation areas in Isfahan province

نام اقلیم Climate name	شهرهای واقع در اقلیم Cities within climate	ویژگی‌های اقلیم Climatic characteristics
خشک-زمستان سرد-تابستان گرم A-C-W	اصفهان، نجف آباد، فلاورجان، مبارکه، خمینی شهر، لنجان، کاشان، اردستان، نائین، نطنز، شاهین شهر و میمه Isfahan, Najaf Abad, Falavarjan, Mobarake, Khomeini Shahr, Lenjan, Kashan, Ardestan, Naein, Natanz and Shahin Shahr and Meyme	از نظر رطوبتی خشک، زمستان سرد، تابستان گرم، دمای زمستان ۱۰-۰ و دمای تابستان ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد Dry humidity, cool winter, warm summer, winter temperature is 0-10 °C, summer temperature is 20-30 °C
نیمه خشک، زمستان سرد، تابستان گرم SA-K-W	خوانسار، فریدن، فریدون شهر، گلپایگان، دهاقان، تیران و کرون، شهرضا، بوئین و میان دشت، سمیرم و چادگان Khansar, Frieden, Fereydoun Shahr, Golpayegan ,Dehaghan, Tiran and Karvan, Shahreza, Boein and Miandasht, Semirom and Chadegan	نیمه خشک، زمستان سرد، تابستان گرم، دمای زمستان ۱۰-۰ درجه سانتی‌گراد و دمای تابستان ۲۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد Semi-arid, cold winter, warm summer, winter temperature is 0-10 °C, the temperature is 10-20 °C degrees in summer



شکل ۱- مراحل چهارگانه رشد کلزا

شماره‌های ۱، ۲ و ۳ مرحله ابتدایی، مراحل ۴، ۵ و ۶ مراحل توسعه، ۷ و ۸ مرحله میانی و ۹ مرحله پایانی. مراحل اقتباس شده از منبع (۱۸).

Figure 1- Four stages of canola growth

Numbers 1, 2, and 3 Initial stages, stages 4, 5 and 6 Development stages, 7 and 8 intermediate stages and 9 final stages. Stages taken from source (18).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات بهره‌وری آب و آب مصرفی در مراحل مختلف فنولوژیک

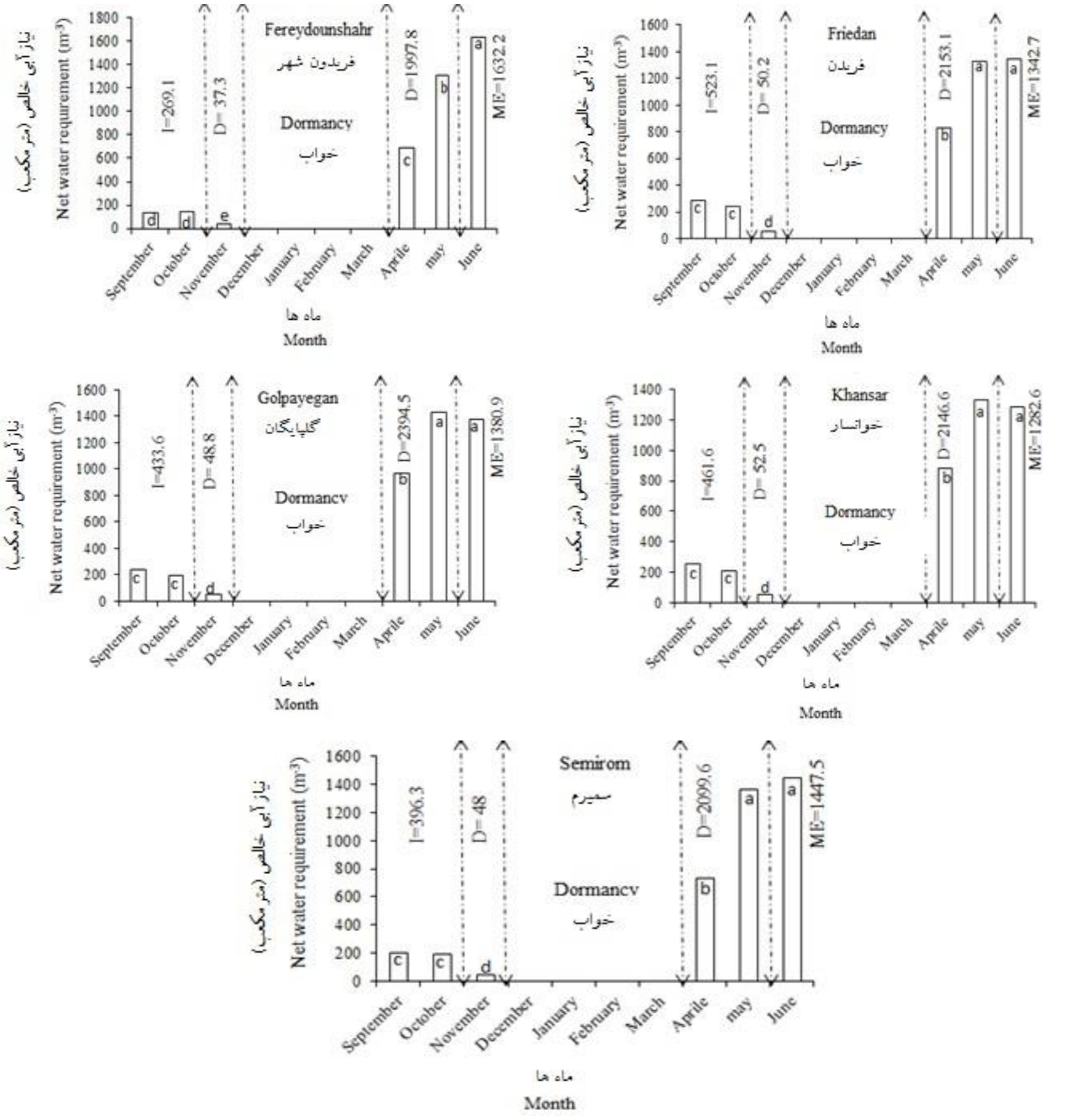
Table 3- Analysis of variance water efficiency and water use in different phonological stages

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square	
		آب مصرفی Water requirement	آب مورد نیاز در مراحل فنولوژیک Water required at the phonological stages
ناحیه اقلیمی Climatic zone	1	48.15**	102.65**
شهرستان در ناحیه اقلیمی City in the climatic zone	21	1006.07**	899.09 **
خطا Error	42	231.22	12.14
		10.11	13.45

نیاز آبی کلزا در دو اقلیم SA-K-W و A-C-W

بر اساس شکل ۲، در اقلیم SA-K-W نیاز خالص آبی برای هر هکتار کلزای کشت شده در شهرستان‌های فریدون‌شهر، فریدن، گلپایگان، خوانسار، سمیرم، تیران و کرون، شهرضا، چادگان، دهاقان و بوئین و میان دشت به ترتیب برابر با ۳۹۳۶، ۴۰۶۹،۴۲۵۸، ۴۰۱۱، ۳۹۹۱، ۴۱۴۷، ۳۹۶۴، ۳۹۶۱، ۴۰۳۵ و ۴۰۵۵ متر مکعب محاسبه شد. این شهرستان‌ها غالباً نواحی غربی استان اصفهان را شامل می‌شوند و به داشتن آب‌وهوای خنک معروف‌اند. اختلاف بیشترین و کمترین نیاز آبی خالص در این اقلیم برابر ۳۲۲ متر مکعب بود که به ترتیب مربوط به شهرستان‌های فریدن و فریدون‌شهر می‌شد. بیشترین مقادیر نیاز آبی مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خرداد بود. این دو ماه در شهرستان‌های فریدون‌شهر، فریدن، گلپایگان، خوانسار، سمیرم، تیران و کرون، شهرضا، چادگان، دهاقان و بوئین و میان دشت به ترتیب ۷۵، ۶۵، ۶۶، ۶۵، ۷۱، ۶۶، ۶۵، ۶۴، ۶۵ و ۶۹ درصد از کل نیاز آبی گیاه را به خود اختصاص دادند. ماه‌های شهریور، مهر و آبان که مصادف با جوانه‌زنی و استقرار گیاه است به حدود ۳۰۰ متر مکعب آب

نیاز دارد که تقریباً ۷/۵ درصد از کل نیاز آبی گیاه را شامل می‌شود. به‌عنوان یک راهنمای کلی لازم است برای شهرستان‌های واقع شده در اقلیم SA-K-W، ۴۰۰۰ متر مکعب آب، به‌عنوان نیاز خالص آبیاری کلزا در نظر گرفته شود.

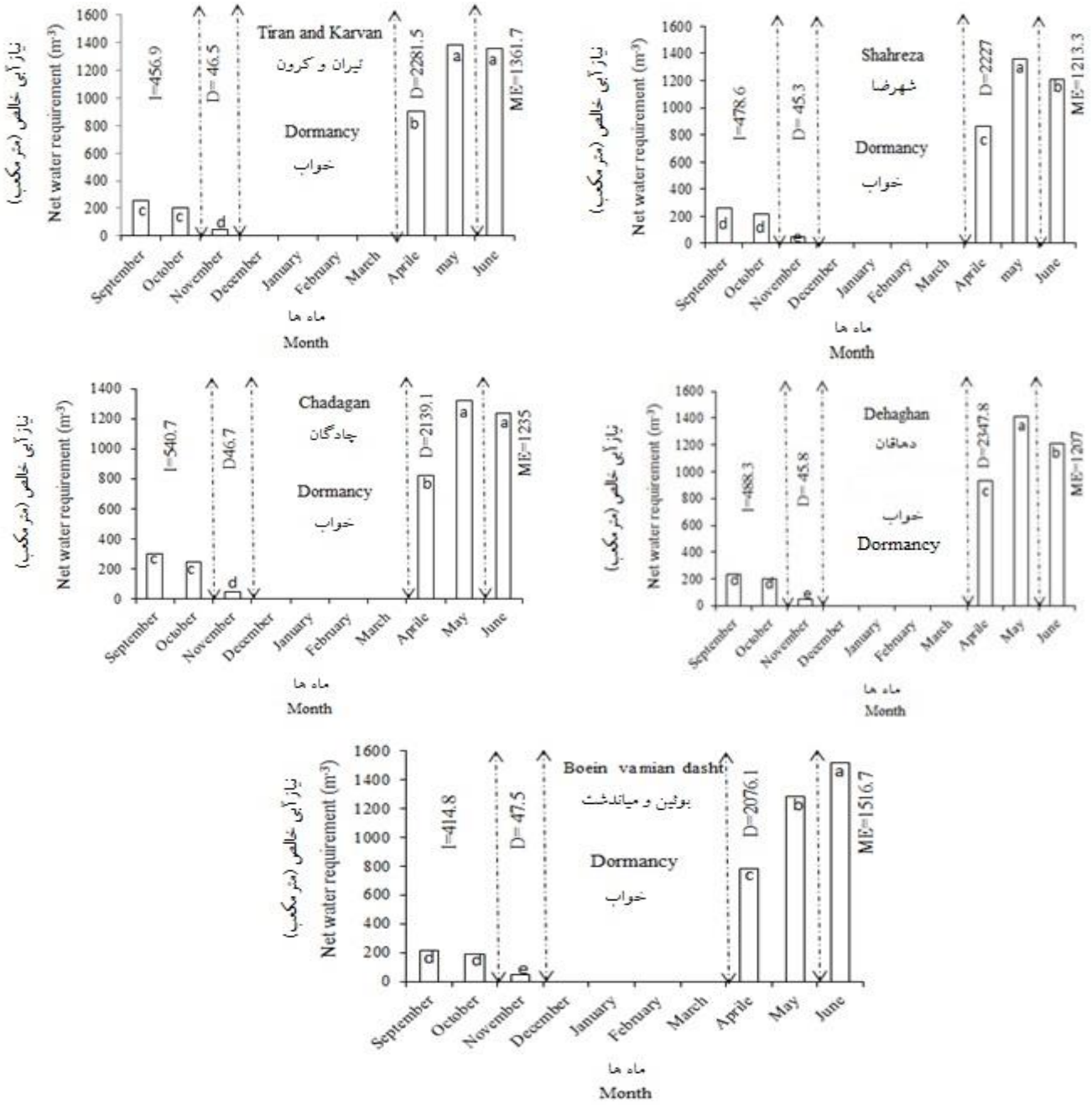


شکل ۲- مقایسه نیاز آبی مراحل مختلف رشدی کلزا در ماه‌های مختلف رشد در شهرستان‌های واقع در اقلیم SA-K-W در هر هکتار

I، D، M و **E** به ترتیب بیانگر مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد (بر اساس شکل ۱) هستند. ستون‌های با حرف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن ۵ درصد).

Figure 2- Comparison of net water requirement of different growth stages of canola in different growth months in the cities of SA-K-W per hectare

I, D, M and E represent the initial, developmental, middle, and end stages of growth (Fig. 1), respectively. Columns with similar letters are not statistically significant (Duncan 5%).



ادامه شکل ۲- مقایسه نیاز آبی مراحل مختلف رشدی کلزا در ماه‌های مختلف رشد در شهرستان‌های واقع در اقلیم SA-K-W در هر هکتار

I، D، M و E به ترتیب بیانگر مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد (بر اساس شکل ۱) هستند. ستون‌های با حرف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن ۵ درصد).

Continue Figure 2- Comparison of net water requirement of different growth stages of canola in different growth months in the cities of SA-K-W per hectare

I, D, M and E represent the initial, developmental, middle, and end stages of growth (Fig. 1), respectively. Columns with similar letters are not statistically significant (Duncan 5%).

نیاز آبی کلزا در مناطق مختلف کشور از ۳۵۰۰ تا بیش از ۶۰۰۰ متر مکعب برآورد شده (۲۲) و در شرایط استان اصفهان برخی از این گزارش‌ها اعدادی بیش از ۵۰۰۰ متر مکعب را برای گیاه کلزا ذکر نموده‌اند (۱۴)، ولی باید این مطلب را در نظر داشت که نوع ارقام استفاده شده در این پژوهش‌ها، شرایط خاک و طول مدت آزمایش از مواردی هستند که می‌تواند بر مقدار اندازه‌گیری شده مؤثر واقع شود.

به‌عنوان مثال در آزمایش انجام‌شده در کبوتر آباد اصفهان که نیاز آبی کلزا را ۵۷۸۰ متر مکعب برآورد نموده است، از رقم طلایه استفاده شده و نواحی مرکزی استان اصفهان را در بر می‌گیرد، اما شهرستان‌های موجود در اقلیم SA-K-W (مطالعه حاضر) در نواحی سردسیر استان واقع شده‌اند.

دوازده شهرستان در اقلیم A-C-W واقع شده‌اند و غالباً نواحی مرکزی (و قسمت‌هایی از نواحی شرقی) استان اصفهان را در بر می‌گیرند. نیاز خالص آبیاری اندازه‌گیری شده برای هر هکتار کشت کلزا در شهرستان‌های اصفهان، اردستان، خمینی‌شهر، فلاورجان، کاشان، لنجان، نائین، نجف‌آباد، نطنز، شاهین‌شهر و میمه، مبارکه و برخوار به ترتیب برابر ۴۷۹۷،۴۸۰۷،۴۷۴۷، ۴۸۸۵،۵۱۰۵، ۴۹۰۸، ۴۸۷۹،۴۹۷۱،۴۹۷۴،۴۷۸۵،۴۷۵۰ و ۵۰۹۷ متر مکعب بود (شکل ۳). بنابراین برای کشت کلزا در اقلیم A-C-W به‌طور متوسط باید ۴۸۹۲ متر مکعب آب خالص در نظر گرفت. این مقدار ۸۹۲ متر مکعب بیش از نیاز آبی این محصول در اقلیم SA-K-W است. بین کمترین و بیشترین نیاز آبی در این اقلیم که به ترتیب در شهرستان‌های اصفهان و فلاورجان ثبت‌شده است، ۳۵۸ متر مکعب تفاوت وجود دارد.

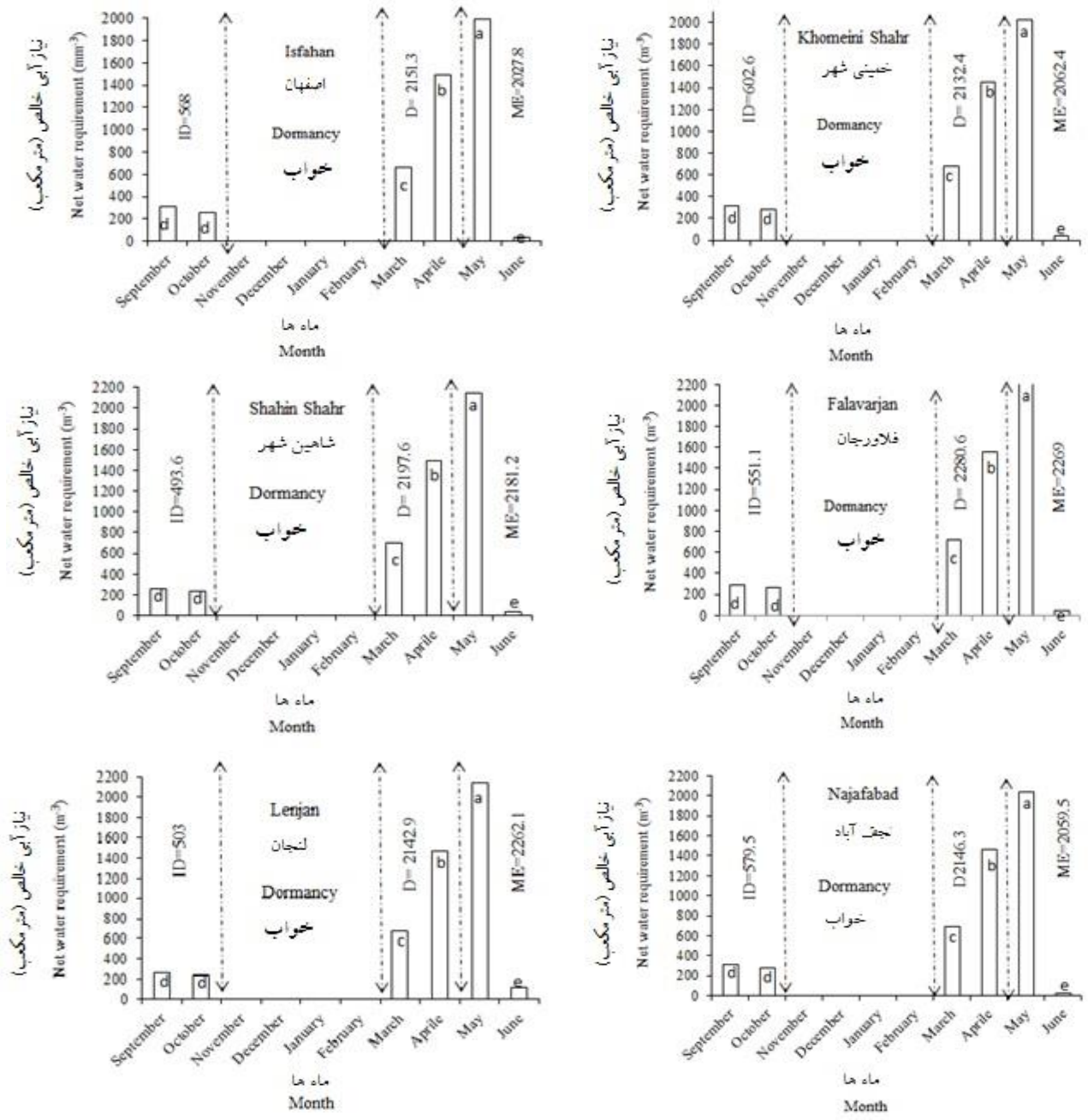
برخلاف اقلیم SA-K-W، کلزا در اقلیم A-C-W در اوایل خرداد برداشت می‌شود، بنابراین ماه‌های پر نیاز از نظر مقدار نیاز آبی به ترتیب عبارت‌اند از اردیبهشت، فروردین و اسفند. صرفه نظر از نام شهرستان، نیاز آبی خالص کلزا در این سه ماه معادل ۸۸ درصد از کل نیاز آبی محصول است. یکی از دلایل عدم رونق کشت کلزا در شهرستان‌های واقع در اقلیم A-C-W، هم‌زمانی نیاز آبی محصولات بهاره بازمان نقطه اوج نیاز آبی کلزا است. این در حالی است که در شهرستان‌های واقع در اقلیم SA-K-W، بارش‌های مؤثر در طی دو ماه (فروردین و اردیبهشت) بیش از بارش‌های مؤثر سه‌ماهه (اسفند، فروردین و اردیبهشت) در اقلیمA-C-W است (شکل ۴) و بنابراین موقعیت بهتری برای توسعه کشت کلزا وجود دارد. حتی برخی از پژوهشگران معتقدند در زمینه مصرف آب در مناطق غربی کشور، گندم از کارایی بالاتری نسبت به کلزا برخوردار بوده و با نیاز آبی ۵۰۰۰ متر مکعب نسبت به کلزا با نیاز آبی ۶۵۹۰ متر مکعب برتری دارد (۲۶)، هرچند ارجحیت یک محصول بدون توجه به سایر عوامل اقتصادی و راهبردی در یک کشور خالی از اشکال نیست. در سایر مناطق دنیا که زراعت کلزا به‌صورت دیم و با اتکا به ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلیم تر بارش (۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متر مکعب آب) انجام می‌شود برخی از منابع معتقد به انجام آبیاری تکمیلی هستند (۱۰). برخی دیگر از تحقیقات با ذکر هم‌زمانی نیاز آبی بالای محصولات پاییزه و بهاره معتقدند بهتر است از سطوح زیر کشت محصولات بهاره کم شده و سطوح محصولات پاییزه مثل گندم و کلزا در تناوب‌های زراعی افزایش یابد (۶). به هر صورت عوامل اقتصادی از قبیل قیمت بالای برخی از محصولات بهاره مثل سبزی و صیفی‌جات و یا تولید محصولاتی با عملکرد بالا مثل ذرت سیلویی مانع از کاهش سطح این‌گونه زراعت‌ها می‌شود.

بررسی نیاز آبی مراحل مختلف فنولوژیک کلزا در دو اقلیم SA-K-W و A-C-W

تفکیک نیاز آبی کل گیاه بر اساس مراحل فنولوژیک رشد در اقلیم SA-K-W در شکل ۲ نشان داده‌شده است. مقدار نیاز آبی مرحله ابتدایی رشد که شامل جوانه‌زنی، ظهور برگ‌های لپه‌ای و تولید دو برگ حقیقی می‌شود در این اقلیم از ۲۶۹ مترمکعب در شهرستان فریدون‌شهر تا ۵۴۱ متر مکعب در شهرستان چادگان در نوسان بود. اغلب شهرستان‌های این اقلیم در مرحله ابتدایی رشد به ۵۰۰–۴۰۰ متر مکعب آب نیاز داشتند. در اقلیم A-C-W نیاز آبی مرحله ابتدایی رشد در هر هکتار از ۴۹۳ متر مکعب در شهرستان‌های شاهین‌شهر و مبارکه تا ۶۰۳ متر مکعب در شهرستان برخوار در تغییر بود و اغلب شهرستان‌های این اقلیم در این مرحله رشدی به بیش از ۵۰۰ متر مکعب آب نیاز داشتند (شکل ۳). در پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه رشد اولیه کلزا، نیاز آبی این مرحله با توجه به شرایط آب و هوایی و خاک هر منطقه متفاوت بوده و ارقام کلزا نیز ممکن است تحمل به کم آبی متفاوتی در این دوره از خود نشان دهند (۱۶). با توجه به تاریخ کاشت کلزا، دو دهه از شهریور و سه دهه از مهرماه (مجموعاً ۵۰ روز) به مرحله ابتدایی رشد اختصاص می‌یابد. گیاه کلزا می‌تواند تنش‌های رطوبتی ملایم در مرحله ابتدایی رشد را تحمل کرده و تا حدی خسارت‌های ناشی از آن را جبران کند (۹)، اما تنش‌های شدید که منجر به کاهش تراکم در واحد سطح شود به هیچ عنوان قابل ترمیم نیست.

پس از مرحله ابتدایی رشد، در صورت رعایت تاریخ کاشت مناسب، گیاه وارد مرحله توسعه شده و قبل از دوره خواب ۸–۷ برگ حقیقی تولید می‌کند. داشتن حداقل ۶ برگ حقیقی برای گذراندن شرایط سرما و آمادگی برای تولید ساقه در بهار در گیاه کلزای پاییزه الزامی است (۲۸). در اقلیم A-C-W معمولاً گیاه یک ماه زودتر از اقلیم SA-K-W از خواب بیدار شده و به سرعت دوره توسعه را طی کرده و ساقه تولید می‌کند. در اقلیم SA-K-W در این مرحله به ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ مترمکعب آب خالص نیاز است، تقریباً همین مقدار آب در اقلیم A-C-W برای تکمیل مرحله توسعه گیاه کافی است. دلیل تساوی مقدار آب مورد نیاز در این مرحله رشدی در دو اقلیم مورد مطالعه این است که در اقلیم A-C-W با زودتر بیدار شدن گیاه در اسفند، گیاه شرایط دمایی مناسب (خنک‌تر) را تجربه می‌نماید در حالی که در اقلیم SA-K-W که بیدار شدن گیاه یک ماه دیرتر به وقوع می‌پیوندد، مرحله توسعه تا پایان اردیبهشت (دمای بالاتر نسبت به

اقلیم A-C-W) ادامه می‌یابد. بنابراین باوجود این کـه اقلـیم SA-K-W ماهیتاً اقلیمی خنک‌تر نسبت به اقلیم A-C-W محسوب می‌شـود اما مقدار آب مورد نیاز در مرحله‌ی توسعه بهاره تقریباً یکسان است.

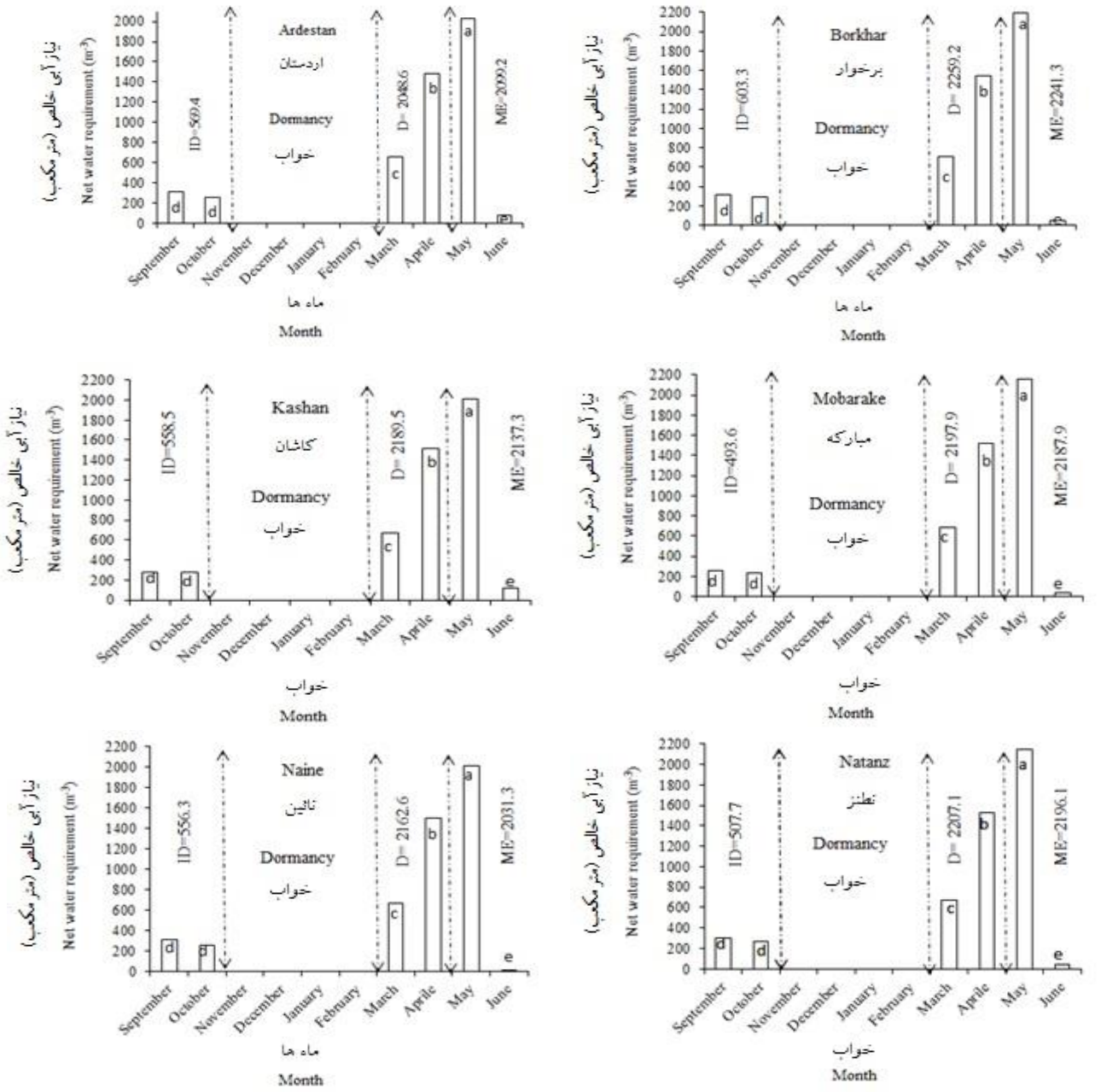


شکل ۳- مقایسه نیاز آبی مراحل مختلف رشدی کلزا در ماه‌های مختلف رشد در شهرستان‌های واقع در اقلیم A-C-W در هر هکتار

I، D، M و **E** به ترتیب بیانگر مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد (بر اساس شکل ۱) هستند. ستون‌های با حرف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن ۵ درصد).

Figure 3- Comparison of net water requirement of different growth stages of canola in different growth months in the cities of A-C-W per hectare

I, D, M and E represent the initial, developmental, middle, and end stages of growth (Fig. 1), respectively. Columns with similar letters are not statistically significant (Duncan 5%).



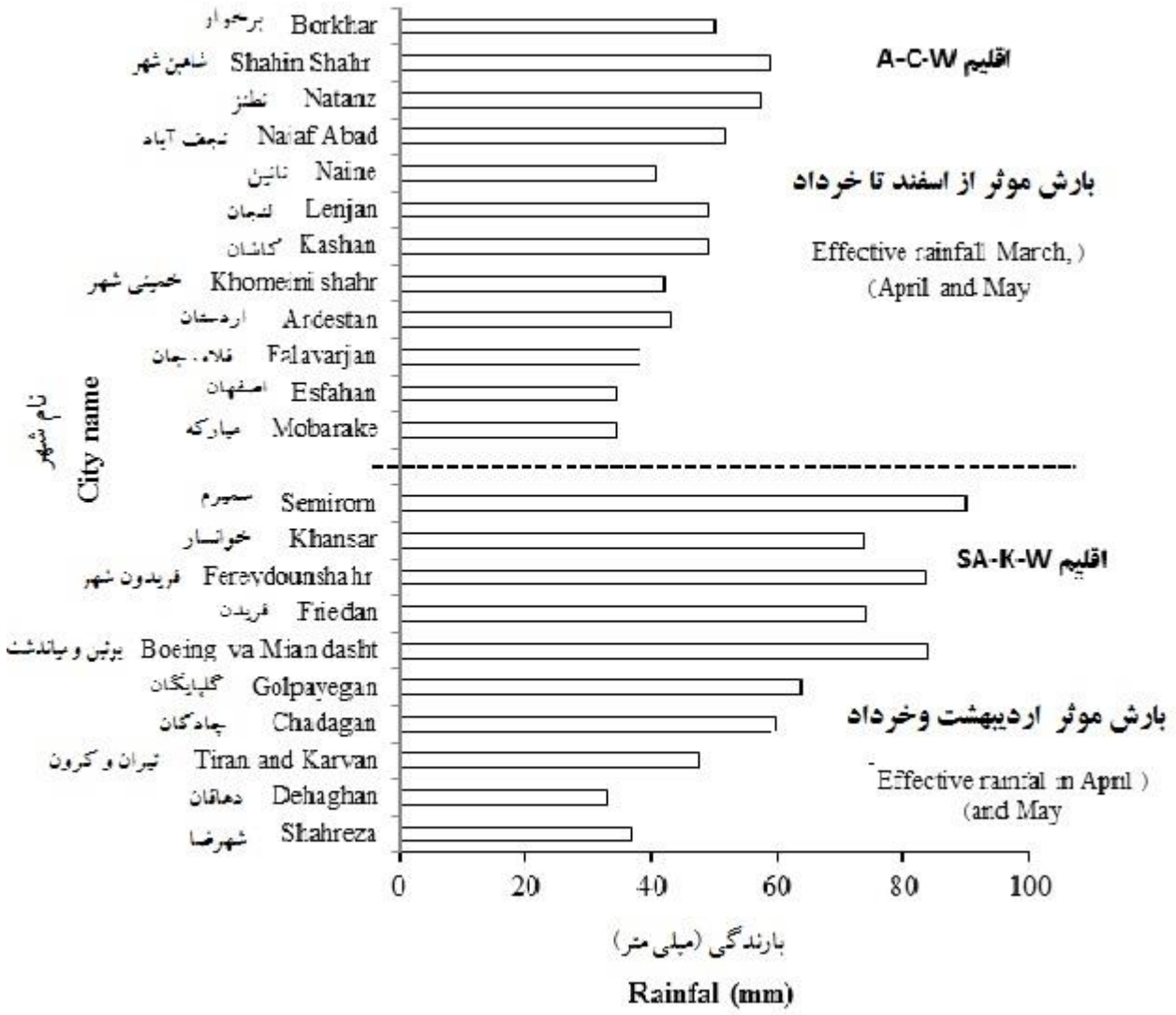
ادامه شکل ۳- مقایسه نیاز آبی مراحل مختلف رشدی کلزا در ماه‌های مختلف رشد در شهرستان‌های واقع در اقلیم A-C-W در هر هکتار

I، D، M و **E** به ترتیب بیانگر مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد (بر اساس شکل ۱) هستند. ستون‌های با حرف مشترک از نظر آماری تفاوت معنی‌دار ندارند (دانکن ۵ درصد).

Continue Figure 3- Comparison of net water requirement of different growth stages of canola in different growth months in the cities of A-C-W per hectare

I, D, M and E represent the initial, developmental, middle, and end stages of growth (Fig. 1), respectively. Columns with similar letters are not statistically significant (Duncan 5%).

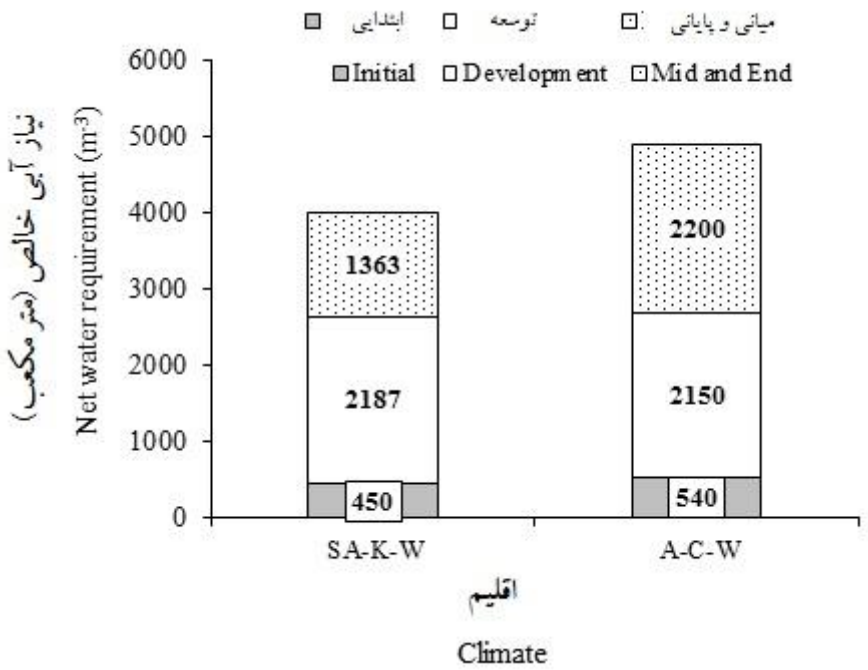
تنش رطوبتی در مرحله توسعه رشد گیاه کلزا می‌تواند با کاهش عملکرد این گیاه همراه باشد و با توجه به کمبود منابع آب در بخش کشاورزی و همچنین افزایش دمای ماه‌های بهاره به دلیل تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی می‌شود در سطح جهانی، چنین تنش‌هایی در مرحله توسعه رشد گیاه کلزا افزایش یابد (۹).



شکل ۴- بارش مؤثر در سه ماه از فصل رشد در اقلیم A-C-W و دو ماه از فصل رشد در اقلیم SA-K-W در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳

Figure 4- Effective precipitation in three months from the growing season in A-C-W and two months from the growing season in the SA-K-W climate in the crop season of 2014-2015.

مرحله میانی رشد که از زمان پوشش کامل گیاه تا رسیدگی به طول می‌انجامد از نظر زمانی مرحله‌ای نسبتاً کوتاه بوده و در اقلیم SA-K-W شامل خردادماه و در اقلیم A-C-W شامل اردیبهشت‌ماه و اوایل خرداد می‌شود (شکل‌های ۲ و ۳). با وجود فاصله زمانی نسبتاً کوتاه این مرحله فتولوژیک، به دلیل نیاز تبخیر و تعرق شدید و دمای بالای محیط نیاز آبی گیاه در این مرحله قابل توجه است. در اقلیم SA-K-W شهرستان‌های فریدون‌شهر و بوئین و میان دشت به ترتیب با نیاز آبی ۱۶۳۲ و ۱۵۱۷ متر مکعب نیاز آبی بیشترین مقدار نیاز آبی را به خود اختصاص دادند. البته باید توجه نمود نیاز آبی بالاتر این دو شهرستان نسبت به سایر شهرستان‌های این اقلیم به این دلیل است که مرحله میانی رشد گیاه با دماهای پایین‌تری در این دو شهرستان مواجه بوده و عملاً این مرحله فنولوژیک طولانی می‌شود، بنابراین در مورد ارقام دیررس کلزا ممکن است این مرحله تا تیرماه نیز ادامه یابد. در حالی‌که در شهرستان‌هایی مثل شهرضا و یا تیران و کرون که مرحله میانی رشد یا دماهای بالاتر رو به رو می‌شود، گیاه ترجیح می‌دهد مرحله رشدی خود را کوتاه کرده و سریعاً تولید بذر نماید، بنابراین ممکن است این مرحله تا اواسط خرداد خاتمه یابد. کوتاه شدن چرخه رشد گیاه به معنی کاهش زیست‌توده گیاه و پتانسیل عملکرد کمتر در یک منطقه نسبت به مناطق مشابه با طول دوره طولانی‌تر خواهد بود (۱۵).



شکل ۵- راهنمای نیاز آبی خالص مراحل فنولوژیک رشد کلزا در دو اقلیم غالب در استان اصفهان

Figure 5- The guideline for net water requirement phenological stages of canola in the two prevailing climate in the Isfahan province

نیاز آبی مرحله میانی رشد در اقلیم A-C-W از حدود ۲۰۰۰ متر مکعب تا بیش از ۲۲۰۰ متر مکعب در شهرستان‌های مختلف متفاوت بود (شکل ۳). در پژوهش‌های مختلف مرحله میانی رشد (شامل رشد طولی ساقه و گل‌دهی) حساس ترین مرحله ی فنولوژیک گیاه به تنش رطوبتی معرفی شده است. به ویژه کاهش رطوبت در مرحله گل‌دهی تا ابتدای شکل گیری گل ها موجب خسارت شدید به عملکرد شده و تأمین آب در این مراحل و یا آبیاری تکمیلی در شرایط دیم نقش به سزایی در افزایش عملکرد خواهد داشت (۲۱). در پژوهش‌های مختلف مرحله میانی رشد (شامل رشد طولی ساقه و گل‌دهی) حساس‌ترین مرحله‌ی فنولوژیک گیاه به تنش رطوبتی معرفی‌شده است. به ویژه کاهش رطوبت در مرحله گل‌دهی تا ابتدای شکل‌گیری گل‌ها موجب خسارت شدید به عملکرد شده و در این مرحله کاهش مقدار آب مورد نیاز به ۳۷ درصد مورد نیاز گیاه، موجب کاهش ۴۸ درصدی عملکرد دانه می‌شود (۶). مرحله پایانی رشد گیاه پس از مرحله رشد میانی شروع می‌شود ولی در شرایط معمول زراعی اجازه داده نمی‌شود گیاه پلاسیده و کاملاً خشک شود و عملیات برداشت انجام می‌شود.

برای تشخیص نیاز آبی و جزئیات مراحل مختلف رشد کلزا در هر شهرستان از استان اصفهان می‌توان به شکل‌های ۲ و ۳ مراجعه نمود. در شکل ۵ خلاصه نیاز آبی محاسبه شده برای دو اقلیم غالب کشت کلزا در استان اصفهان نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

نزدیک به دو دهه از کشت کلزا به‌عنوان یک محصول پاییزه در استان اصفهان می‌گذرد، اما این گیاه به دلایل مختلف هنوز نتوانسته جایگاه باثباتی در تناوب‌های زراعی پیدا کند. این دلایل بسیار متفاوت‌اند و از آن جمله می‌توان به ضعف مکانیزاسیون، پایین بودن قیمت تضمینی خرید، فقدان صنایع تبدیلی برای حمایت از سطوح کوچک کشت و نیاز به مدیریت دقیق‌تر نسبت به محصولات دیگر (مثل گندم) اشاره نمود. در پژوهش حاضر صرفاً وضعیت نیاز آبی این گیاه در شهرستان‌های مختلف استان اصفهان که دارای کشت کلزا در چند سال اخیر بودند به تفکیک مراحل فنولوژیک مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل ۱۰ شهرستان واقع در اقلیم SA-K-W برای تولید کلزا در هر هکتار به طور متوسط به ۴۰۰۰ متر مکعب آب خالص نیاز دارند. بین شهرستان‌های موجود در این اقلیم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر نیاز آبی موجود بود و اختلاف بیشترین و کمترین نیاز آبی در بین شهرستان‌ها به ۳۲۲ متر مکعب می‌رسید. در اقلیم A-C-W که ۱۲ شهرستان در آن واقع شده است نیاز آب خالص در هکتار به طور متوسط برابر ۴۸۹۲ متر مکعب بود. تفاوت نیاز آبی بین این اقلیم با اقلیم SA-K-W مربوط به مراحل میانی و پایانی رشد گیاه کلزا بود. با توجه به این که این دوره زمانی از یک سو در

ماه‌های گرم اواخر بهار واقع شده (نیاز تبخیر و تعرق شدید) و از سوی دیگر در اقلیم A-C-W تناوب‌های فشرده با حضور محصولات رقیب مثل انواع سبزی و صیفی‌جات و همچنین ذرت در جریان است، می‌تواند دلایلی بر عدم استقبال کشاورزان از کشت محصول کلزا در این ناحیه محسوب شود.

در پژوهش حاضر مقایسه نیاز آبی مراحل رشد کلزا در دو اقلیم غالب در استان اصفهان مورد توجه قرار گرفت ولی نکته جالب توجه این است که میانگین ۵ ساله عملکرد کلزا در شهرستان‌های واقع شده در این دو اقلیم برابر بوده و معادل ۲ تن در هکتار است. اگرچه نیاز آبی کلزا در اقلیم SA-K-W نسبت به اقلیم A-C-W کمتر بود و اساساً این اقلیم شرایط آب و هوایی خنک‌تری را تجربه می‌کند اما طول فصل کوتاه رشد به‌عنوان یک عامل محدودکننده مطرح بوده و رعایت تاریخ کاشت مناسب از اهمیت بالاتری برخوردار است. در اقلیم A-C-W دمای محیط به ویژه در مراحل رشد زایشی به‌عنوان عامل محدودکننده مطرح بوده و تنفس گیاه در این شرایط در سطح بالایی است. این دلایل باعث شده عملکرد به دست آمده در دو اقلیم مشابه باشد. به هر صورت برای ایجاد بینش صحیح در مورد کشت کلزا باید پژوهش‌های مرتبط با عوامل اقتصادی (مثل قیمت محصول)، عوامل محدودکننده مدیریتی (مثل سطح مکانیزاسیون منطقه و وجود محصولات رقیب در منطقه) و کارایی استفاده از منابع آب نیز مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مدیریت آب و خاک و امور مهندسی سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و مرکز تحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان برای همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

منابع

1- Abbasi F., Sohrab F., and Abbasi N. 2015. Evaluating on irrigation efficiencies and temporal and spatial variations in Iran. Technical Report, Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Karaj, Iran. 54pp. (In Persian)
2- Ahmadi K., Ebadzadeh H., Hatami F., Abdeshah H., and Kazemian A. 2019. Agricultural statistics crop year. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy Director of Planning and Economics, ICT. 87pp. (In Farsi)
3- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. NO. 56, Rome, Italy.
4- Allen R.G., Pereira L.S., Smith M., Raes D., and Wright J.L. 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 131: 2–13.
5- Esmaeeli M., Damavandi A., and Tabandeh L. 2009. Study the effects of irrigation depth and interval on oil percent and seed yield of canola, Iran, *In*: Proceedings of 11nd Iranian soil Science Congress, 12-15 July, Gorgan, pp. 1748-1749. (In Persian)
6- Esmailpour Estarkhi H., Karim M., Alimohammadi Sarabi A., and Davari K. 2017. Planning of agricultural crops cultivation using spatial optimization methods. Journal of Geospatial Information Technology 5:19-33. (In Persian)
7- Farajnia A. 2004. Interaction of irrigation regime and urea fertilizer on oil percent and seed yield of canola. Iran, *In:* Proceedings of 3nd National Conferences on the development in the Application of Biological Products and Optimum Utilization of Chemical fertilizers and Pesticides in Agriculture, Karaj, pp. 138-139. (In Farsi)
8- Food and Agriculture Organization. 2018. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2019, from http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx. (Accessed 14 September 2019).
9- Gan Y., Angadi S.V., Cutforth H., Potts D., Angadi V.V., and McDonald C.L. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. Canadian Journal of Plant Science 84: 697-704.
10- George N., Hollingswort J., and Kaffka S. 2015. A guide for canola and camelina research in California. University of California, Davis Department of Plant Sciences. http://agresearch. montana. edu/wtarc/producer info/agronomy- nutrient management /Canola/UCF act Sheet. pdf. (Accessed 5 Oct. 2015).
11- Ghadami Firouzabadi A. 2006. Comparison of water use efficiency scale in pressure irrigation systems (Hamedan Province), Iran, *In:* Proceedings of the National Conference on Irrigation and Drainage Networks. Shahid Chamran University of Ahwaz. Ahwaz, Iran, 1031–1037. (In Persian)
12- Ghaffari A., Ghasemi V.R., and Pauw E. D. 2015. Agro-Climatically Zoning of Iran by UNESCO approach. Dryland Agriculture 1: 64-95.
13- Goosheh M., Saremi M., and Vaziri Z. 2004. Determination of suitable interval and depth of canola irrigation by class A evaporation pan method in Khuzestan, Journal of Soil and Water Sciences 1: 164-171. (In Persian)
14- Haghighat E. 2003. Potential evapotranspiration of canola, Iran, *In*: Proceeding of 8nd Iranian Soil Science Congress, 31 Aug, 3 Sep., Rasht, pp. 1030-1031. (In Farsi)

15- Hütsch B.W., Jahn D., and Schubert S. 2019. Grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under long-term heat stress is sink-limited with stronger inhibition of kernel setting than grain filling. Journal of Agronomy and Crop Science 205: 22-32.
16- Khan M.N., Zhang J., Luo T., Liu J., Ni F., Rizwan M., Fahad S., and Hu L. 2019. Morpho-physiological and biochemical responses of tolerant and sensitive rapeseed cultivars to drought stress during early seedling growth stage. Acta Physiologiae Plantarum 41(2): 25.
17- Kirkegaard J.A., Lilley J.M., Brill R.D., Ware A.H., and Walela C.K. 2018. The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). Field Crops Research 222: 180-188.
18- Meier U. 1997. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. Blackwell Wissenschafts-Verlag.
19- Meskini F., Mohammadi M.H., Neishabouri M.R., and Shekari F. 2017. A model to estimate soil water depletion coefficient using plant and soil properties. Iranian Journal of Soil Water and Research 48:749-758. (In Persian)
20- Modarres-Sanavy A.M., Sadeghinejad S., Tabatabayi A., and Asilan K. 2012. Effect of water deficit stress at terminal growth stages on yield and seed oil quality of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science 43: 507-517. (In Persian)
21- Mohtashami R., Dehnavi M.M., Balouchi H., and Faraji H. 2020. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. Agricultural Water Management, 232, p.106046.
22- Nowroozi M., and Zolfi Baveriani M. 2011. A Determination of Suitable Interval and Depth of Irrigation in Canola Crop as Based on Evaporation from Class A Pan (Case Study: Bushehr, Iran). Iranian Journal of Soil and Water Research 42: 27-34. (In Persian)
23- Salamati N., and Delbari M. 2015. Effect of water values in strip method diameters on the quantitative and qualitative yield of two canola cultivars in Baghlan. Journal of Water Research in Agriculture 28: 329-339. (In Persian)
24- Salemi H., Khodagholi M., Jalali A.H., and Nikouei A. 2019. Determination of net water requirement of crops and gardens in order to optimize the management of water demand in agriculture sector. Karaj: Institute of Technical Research and Agricultural Engineering, Registration number 56527. (In Persian)
25- SAS Statistical Analysis System. 2002. Getting Started with the SAS Learning. SAS Institute, Cary, NC.
26- Sepahvand M. 2009. Comparison of water requirement, water productivity and economic productivity in wheat and canola in the west of Iran in rainy years. Iranian Journal of Water Research 4: 63-68. (In Persian)
27- Tesfamariam E.H., Annandale J.G., and Steyn J.M. 2010. Water stress effects on winter canola growth and yield. Agronomy Journal 102: 658-666.
28- Wysocki D., Sirovatka N., and Ott S. 2005. Growth and nutrient uptake of winter canola at Pendleton, Oregon. P. Steven et al., editors, pp.58-64.
29- Yu L., Gao X., and Zhao X. 2020. Global synthesis of the impact of droughts on crops' water-use efficiency (WUE): Towards both high WUE and productivity. Agricultural Systems, 177, p.102723.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 4, Sept-Oct 2020, p. 781-795

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۹، ص. ۷۹۵-۷۸۱

Estimation of Net Water Requirement of Different Phenological Stages of Canola in Isfahan Province

A.H. Jalali[1]*-H.R. Salemi[2]

Received: 23-06-2019
Accepted: 30-05-2020

Introduction: In recent years, canola cultivation in Iran has been considered as oil production, and in 2014-2015, it has been allocated to 7.7% of the cultivation area of industrial products of the country. The yield of canola oil and seeds depends on the availability of sufficient water resources during the growth period. In the Mediterranean, with the cultivation of canola autumn, the high- temperature occurs in the stages of formation and growth of seeds in the spring can increase the water requirement of this plant and irrigation management at this time is important in increasing plant yield. Due to the weather conditions of each area, type of variety and soil conditions may vary the need for canola. In one study in Hamedan water use efficiency of canola in two ways drip and furrow irrigation were calculated as 1.09 and 0.63 kg m^{-3}, respectively. The present study was conducted with the purpose of evaluating the net water requirement of canola plant in different cities of Isfahan province into different climatic zones and considering the phonological stages.

Materials and Methods: In order to estimate the net water requirement of canola under two different climates (arid-cold winter with temperatures above freezing point - hot summer A-C-W) and (Semi-arid-cold winter with a temperature equal to or less than zero-hot summer SA-K-W) in Isfahan province, a research was conducted in 2014-2015 using a completely randomized, unbalanced design. The study was carried out in different cities of Isfahan province, which have canola cultivation. The required statistical information was obtained from 28 stations of synoptic and climatologic meteorology in Isfahan province and some neighboring provinces. Soil data was used to calculate the soil evaporation coefficient (Ke), which describes the evaporation component in the trait (ETc). In order to calculate the soil properties, in addition to the sampling of existing fields, a database of 1600 soil profiles in the Soil and Water Research Department of Isfahan province was also used. The plant growth stages were considered based on FAO's 56 irrigation and drainage journal. For analyzing data in each climate, a completely randomized, unbalanced design (with inequality repeat) was used, and the meanings were compared with Duncan's multiple range test (at 5% level).

Results and Discussion: There was a significant difference (α=1%) between the different cities in terms of total water consumption and the net water requirement of different phenological growth stages. In the SA-K–W climate, the net water requirement for each hectare of canola cultivated in the cities of Fereydoun Shahr, Friedan, Golpayegan, Khansari, Semirom, Tiran and Karvan, Shahreza, Chadegan, Dehaghan, and Boein va Mian Dasht was 3936, 4069, 4258, 4011, 3991, 4147, 3964, 3961, 4035 and 4055 m^{-3}, respectively. In the SA-K-W climate (with ten cities), the net water requirement of canola was estimated at 4,000 m^{-3} ha^{-1}. The difference between the highest and the least water requirement in this climate were 322 m^{-3} ha^{-1} and related to cities of Frieden and Fereydoun City, respectively. In the climate of A-C-W (12 cities), canola net water requirement was 892 m^{-3} ha^{-1} more than the net water requirement of this crop in the SA-K-W climate. On average, the initial, developmental, and (middle and final) net water requirements of the canola in the A-C-W climate were 540, 2150, and 2200 m^{-3} ha^{-1}, respectively. The net irrigation requirement estimated for each ha^{-1} of canola cultivation in Isfahan, Ardestan, Khomeini Shahr, Falavarjan, Kashan, Lenjanat, Naein, Najaf Abad, Natanz, Shahin Shahr, Mobarakeh, and Borkhar cities was 4747. 4807. 4797, 5,105, 4885, 4908, 4750, 4785, 4974, 4971, 4879 and 5097 m^{-3}, respectively.

1- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
(*- Corresponding Author Email: Jalali51@yahoo.com)
2- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
DOI: 10.22067/jsw.v34i4.81248

Conclusion: Based on the results of the 10 cities in the SA-K-W climate, canola production per hectare requires an average of 4,000 cubic meters of net water per hectare. In the A-C-W climate of 12 cities, the average net water requirement per hectare was 4892 m^{-3}. The difference in water requirement between this climate and the climate of SA-K-W was related to the middle and late stages of canola growth.

Keywords: Early growth stage, Development stage, Yield, Water requirement