

## تأثیر کم آبیاری و سطوح زئولیت بر پدیدشناسی، عملکرد روغن و کارایی مصرف آب شاهدانه

محمود بهادر<sup>۱</sup> و محمودرضا تدین<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شهرکرد

۲. دانشیار گروه زراعت دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰)

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر کم آبیاری و کاربرد زئولیت بر بازده (راندمان) مصرف آب، عملکرد روغن و پدیدشناسی (فنولوژی) شاهدانه، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شهرکرد انجام شد. تیمارها شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح (تأمین ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کاربرد زئولیت به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (بدون کاربرد، کاربرد ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد، طول دوره زایشی تحت تأثیر آبیاری و زئولیت و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت و با کاهش تأمین آب آبیاری، طول دوره رشد کاهش یافت؛ که سهم مرحله‌های زایشی بیش از مرحله‌های رویشی بود. با افزایش شدت کم آبیاری عملکرد روغن، به‌عنوان تابعی از عملکرد دانه و درصد روغن، کاهش معنی‌داری داشت، اما کاربرد زئولیت تا حدودی سبب جلوگیری از کاهش عملکرد روغن شد. زئولیت مصرف آب در ازای هر واحد عملکرد تولیدی را در تیمار تنش خفیف و متوسط به ترتیب ۱۹/۹ و ۱۷/۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش بهبود داد. کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار به همراه تأمین ۶۰ و به‌ویژه ۸۰ درصد نیاز آبی، سبب کاهش آسیب تنش خشکی به گیاه شاهدانه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش خشکی، شاهدانه، مرحله زایشی، محتوای آب برگ.

## Effect of deficit irrigation and zeolite levels on phenology, oil yield and water use efficiency of hemp

Mahmoud Bahador<sup>1</sup> and MahmoudReza Tadayon<sup>2\*</sup>

1. Crop physiology student at Shahrekord University

2. Assistant Professor of Crop physiology at Shahrekord University

(Received: July 23, 2017- Accepted: November 11, 2017)

### ABSTRACT

To study the effect of deficit irrigation and zeolite application on water use efficiency, oil yield and phenology of hemp, a split plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in Shahrekord University. Treatments included irrigation at four levels (supplying 40, 60, 80 and 100% water requirement of crop) as the main plot and application of zeolite at three levels (no application, application of 5 and 10 tons of zeolite per hectare) as sub plot. The results showed that the length of the reproductive period was affected by irrigation and zeolite treatments and their interactions. By decreasing irrigation water supply, the length of the growth period decreased, although the reproductive stages were more sensitive than the vegetative stages. With increasing defficit irrigation intensity, oil yield, as a function of grain yield and oil content, decreased significantly. But, zeolite application prevented the oil yields to be reduced to some extent. Zeolite improved the water consumption per unit of yield on low and medium levels of drought stress with 19.9% and 17.5% than control treatment. Application of 10 tons of zeolite per hectare, at 60 and 80 percent supplying of the crop water requirement, modified the adverse effects of drought stress to hemp.

**Keywords:** water productivity, reproductive phase, Cannabis, drought stress, leaf water content.

\* Corresponding author E-mail: mrtadayon@yahoo.com

### مقدمه

شاهدانه (*Cannabis sativa*) گیاهی یک‌ساله، علفی، متعلق به خانواده Canabinaceae بوده و محل رشد آن در ایران گرگان، بندر گز، گیلان، آستارا، اراک، کرمان، خراسان، خاف، کاشان، موته (در اطراف قم) است (Karimi, 2007). همچنین، بنا بر آمار وزارت کشاورزی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ سطح زیر کشت دیگر دانه‌های روغنی (به‌جز سویا، کنجد، آفتابگردان، کلزا و گلرنگ) برابر ۲۹۷۷ هکتار و میزان تولید کل از این مساحت، معادل ۸۷۸۷ تن گزارش شد که استان چهارمحال و بختیاری با تولید ۵۱۲۴۳ تن محصولات گیاهان صنعتی از مساحتی معادل ۱۴۲۵ هکتار اهمیت ویژه‌ای در تولید محصولات گیاهان صنعتی در کشور دارد (Ministry of Agriculture- Jahad, 2016). شاهدانه در تولید فرآورده‌هایی مانند لیف (فیبر)، ساخت کاغذ، استخراج روغن و تولید ترکیب‌های دارویی و مخدر قابل استفاده است (Aladic et al., 2015). دانه شاهدانه به‌طور میانگین ۲۵ تا ۳۵ درصد روغن، ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین، ۲۰ تا ۳۰ درصد کربوهیدرات و ۱۰ تا ۱۵ درصد لیف نامحلول و همچنین ویتامین‌های گروه B، C، E و D دارد. اسیدهای چرب ضروری روغن شاهدانه شامل ترکیب‌هایی فرار از جمله ترکیب‌های ترپنوئیدی است که در صنعت آرایشی، مواد افزودنی، صنعت عطر و آفت‌کش‌ها استفاده می‌شوند (Anwar et al., 2006). تنش خشکی از جمله مهم‌ترین عامل‌های محیطی محدودکننده رشد و تولید گیاهان است. بر پایه مدل‌های کنونی تغییر اقلیم، پراکنش و شدت خشکی در بسیاری از منطقه‌های جهان رو به افزایش بوده و همین موضوع نیاز به شناخت بهتر تأثیر خشکی بر سازوکارهای گیاه در پاسخ به تنش آبی را افزایش می‌دهد (Tommasini et al., 2008). افزایش روزافزون جمعیت و نیاز زیاد به مواد غذایی موجب می‌شود کارایی مصرف آب به‌طور ویژه قابل توجه قرار گیرد. ارزیابی بررسی‌های انجام‌شده نشان‌دهنده آن است که به‌رغم استفاده از سامانه‌های مدرن آبیاری، دستیابی به بازده (راندمان) شایان پذیرش هنوز رخ نداده است. از این‌رو، از زئولیت‌ها، به‌عنوان ماده کانی اصلاح‌کننده خاک، می‌توان به‌منظور افزایش ظرفیت ذخیره رطوبتی خاک و نیز بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده کرد. میزان تأثیر

زئولیت بر افزایش ظرفیت ذخیره آب در خاک به عامل‌های چندی مانند شرایط فیزیکی خاک، میزان کاربرد و اندازه زئولیت مصرفی بستگی دارد (Khashei Sivaki et al., 2009). زئولیت با ویژگی جذب شدید آب می‌تواند آب موجود در خاک را تا حد اشباع جذب کرده و آن را برای مدت طولانی درون شبکه خود نگه‌داری کند، آب موجود در شبکه، به تدریج جذب گیاه می‌شود. جذب انتخابی و آزادسازی کنترل‌شده عنصرهای غذایی از زئولیت باعث می‌شود در صورت انتخاب نوع بهینه زئولیت مصرفی، هنگامی که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شوند، با افزایش فراهمی درازمدت آب و عنصرهای غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کنند (Polat et al., 2004). زئولیت می‌تواند به‌عنوان تنظیم‌کننده آب عمل کند، زیرا یکی از ویژگی‌های مهم آن توانایی آبیاری و پسابدگی است که می‌توان از آن برای بهبود تعادل آب در خاک در شرایط کمبود رطوبت، به‌ویژه در مرحله‌های رشدی حساس به کاهش رطوبت استفاده کرد (Harb & Mahmoud, 2009). زئولیت بر کارایی مصرف آب تأثیر معنی‌داری دارد و موجب بهبود صفات رشدی در گیاهان مختلف می‌شود (Khashei Sivaki et al., 2009; Gholizadeh et al., 2010).

Koucheki & Nasiri Mahalati (2005) در نتایج بررسی‌های خود اظهار داشتند، از مهم‌ترین برتری‌های بررسی پدیدشناختی (فنولوژیکی) یک گیاه استفاده بهینه از عامل‌های بوم‌شناختی (اکولوژیکی) در جهت افزایش عملکرد آن است؛ زیرا با توجه به آمار هواشناسی در هر منطقه و تعیین نیاز دمایی هر مرحله پدیدشناختی و کل دوره رشد گیاه، می‌توان بسیاری از فعالیت‌های به‌زرعی از جمله تاریخ کاشت مناسب، آبیاری به‌هنگام، زمان مناسب برداشت، زمان مناسب مبارزه با آفات و بیماری‌ها و انتخاب رقم‌های مناسب در بهترین زمان ممکن را تشخیص و به تولید بیشتر محصول دست‌یافت. در اصل طول دوره رشد و طول هر مرحله پدیدشناختی می‌تواند با مصرف بیشتر منابع یا کاهش تنش‌های محیطی و کاهش طول هر دوره، عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد (Soleimanzadeh et al., 2008). یکی از مهم‌ترین تغییرپذیری‌های ناشی از تنش خشکی کاهش محتوای نسبی آب برگ (به‌عنوان شاخصی

فسفات تریپل و گوگرد کشاورزی به ترتیب به میزان ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پیش از کشت و کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار که یک‌چهارم آن پیش از کشت و مابقی در سه مرتبه به صورت سرک در سال اول، و در سال دوم مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد کشاورزی پیش از کشت و ۱۰۰ کیلوگرم اوره که یک‌چهارم پیش از کشت و مابقی به صورت سرک در سه نوبت اعمال شد.

عامل اصلی شامل رژیم آبیاری در چهار سطح (تأمین ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و عامل فرعی شامل کاربرد زئولیت در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. در هر سال، ابتدا در مزرعه عملیات خاک‌ورزی انجام و پس از کرت‌بندی سطح‌های زئولیت اعمال شد. سپس با فاروئر، پشته‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و بذرها شاهدانه (توده محلی شهرکرد) با تراکم حدود ۳۰ بوته در مترمربع (Young, 2005) در تاریخ پانزدهم خردادماه در سال اول آزمایش و در سال دوم در تاریخ اول خردادماه کشت شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاه شاهدانه در مزرعه و همزمان با باز شدن چهارمین برگ گیاه (کد ۱۰۰۸ در مرحله‌های رشدی گیاه شاهدانه) (Mediavilla et al., 1998) صورت گرفت و تا زمان رسیدگی و برداشت ادامه داشت. تیمار تنش خشکی بر مبنای نیاز آبی محاسبه‌شده با روش پنمن-مانتیت اصلاح‌شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی (فائو)، صورت گرفت. هنگامی که میزان رطوبت خاک در تیمار شاهد، به میزان ۵۰ درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی رسید، آبیاری با استفاده از کنتور حجمی انجام شد. به منظور اندازه‌گیری محتوای آب برگ (WC: Water Content) از جوان‌ترین برگ کامل توسعه‌یافته (کد ۱۰۰۴ در مرحله رویشی و کد ۲۲۰۰ در مرحله زایشی) استفاده شد، بدین ترتیب که از این برگ دیسک‌هایی به قطر ۱ سانتی‌متر تهیه شده و برای به دست آوردن وزن تر، با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. در مرحله بعد دیسک‌های برگ به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از این مرحله برای تعیین وزن خشک دوباره وزن شدند (Rosales et al., 2012) و محتوای آب برگ از رابطه زیر به دست آمد:

$$WC = FW - DW$$

در رابطه بالا، FW وزن تر و DW وزن خشک است.

در توانمندی گیاه در برخورد گیاه با تنش خشکی) است. به‌طورکلی، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Mori et al., 2012; Molnar et al., 2002). هنگامی که آب به میزان کافی وجود داشته باشد و ریشه‌ها نیز آب را جذب کنند، محتوای نسبی آب بین ۸۵ تا ۹۵ درصد متغیر است، اما هنگامی که گیاه در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد و با کمبود آب روبه‌رو می‌شود، محتوای نسبی آب تا حدود ۵۰ درصد و یا پایین‌تر بسته به نوع گیاه و بافت مورد نظر کاهش می‌یابد (Taiz & Zeiger, 2007). تنش خشکی افزون بر تولید دانه، بر کیفیت دانه به‌ویژه درصد روغن دانه و درنهایت عملکرد روغن دانه (Hasanzadeh et al., 2006) و کارایی آب مصرفی (Khashei Sivaki et al., 2009) نیز تأثیر منفی داشته است. نتایج پژوهشی نشان داد، تیمارهای کم آبیاری، زئولیت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد روغن معنی‌دار بوده است و با افزایش تخلیه رطوبتی خاک، عملکرد روغن کاهش یافته، اما زئولیت موجب افزایش مقدار صفات مورد بررسی شده است (Motaghi et al., 2015). در پژوهشی دیگر، کاربرد زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار در شرایط تنش کم‌آبی، موجب کاهش تأثیر زینبار تنش و بهبود صفات کمبود اشباع آب و عملکرد روغن شد (Naeemi et al., 2012). همچنین پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود بیان کردند، تنش کم آبیاری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود، درحالی‌که زئولیت سبب بهبود محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش خشکی شد (Torabi et al., 2014).

### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کم آبیاری و کاربرد زئولیت بر بازده مصرف آب، عملکرد روغن و پدیدشناختی شاهدانه آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۴ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. در شکل ۱ میانگین دما و مجموع بارش منطقه مورد آزمایش نشان داده شده است. در آغاز هر سال، پیش از اجرای آزمایش نمونه‌ای مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه شد که میانگین نتایج دو سال در جدول ۱ آورده شد. بر پایه توصیه آزمایشگاه، سوپر

دست آمد. لازم به یادآوری است نسبت بوته‌های نر و ماده در هر کرت حدود ۵۰:۵۰ محاسبه شد و بوته‌های نر در مرحله رشدی ۲۱۰۳ (پایان مرحله گلدهی) خشک شد. از این زمان تا پایان فصل رشد، تراکم بوته در کرت‌ها به نصف رسید که در محاسبه تعیین نیاز آبی هر کرت و بررسی عملکرد دانه در نظر گرفته شد. همچنین به منظور تعیین بازده مصرف آب، پس از برداشت شمار ۵ بوته، نمونه‌ها وزن و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند. سپس وزن کل زیست‌توده اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه‌های زیر، کارایی مصرف آب و میزان بهره‌وری آب سنجیده شد (Gao *et al.*, 2004):

$$WP = \frac{Y}{W}$$

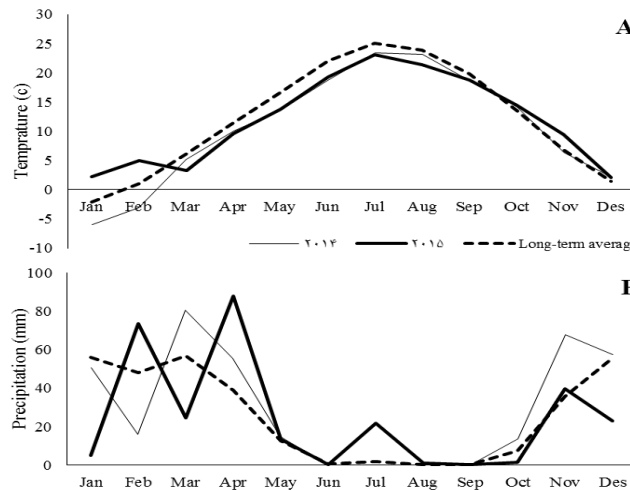
$WU$  آب استفاده‌شده به ازای واحد سطح  
 $W$ : مقدار آب مصرفی  
 $WUE$  کارایی استفاده از آب  
 $Y$ : مقدار محصول تولیدی

$$WUE = \frac{BY}{WU}$$

$WU$  آب استفاده‌شده در واحد سطح  
 $A$  مساحت کرت (مترمربع)  
 $WP$  بهره‌وری

$$WU = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{A}$$

$BY$  زیست‌توده تولیدی در واحد سطح  
 $I_i$  حجم آب آبیاری در آبیاری  $i$  ام  
 $n$  شمار آبیاری در طول فصل رشد



شکل ۱. میانگین دما (A) و مجموع بارش (B) ماهانه در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Fig. 1. Monthly average of temperature (A) and total precipitation (B) in 2014 & 2015 years

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مورد آزمایش (میانگین دو سال)

Table 1. Field soil characteristics (means of two years)

Soil characteristic	
EC (dS.m <sup>-1</sup> )	0.594
pH	7.74
Nitrogen (%)	0.127
Phosphorus (mg.kg <sup>-1</sup> )	19.25
Potassium (mg.kg <sup>-1</sup> )	363
Organic matter (%)	1.024
Mineral components of soil	
Clay (%)	35.3
Silt (%)	34.0
Sand (%)	30.7

برای انجام آزمون تجزیه واریانس، آزمون عادی بودن داده‌ها

در پایان داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9 تجزیه شدند.

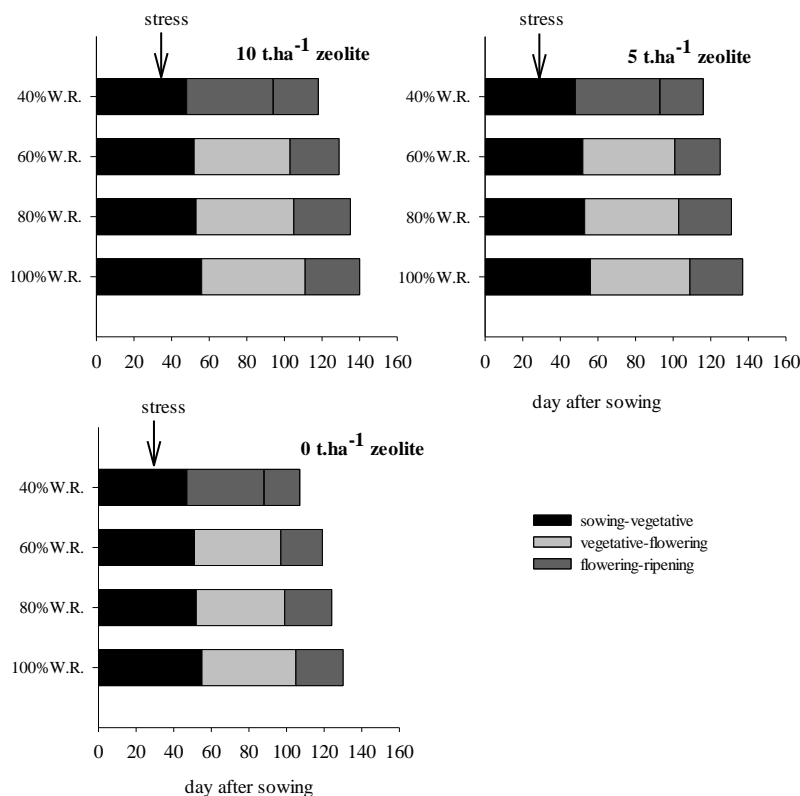
کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار بود، به طوری که در سال نخست ۱۴۰ روز و در سال دوم ۱۵۳ روز پس از کاشت، دوره رشد گیاه به پایان رسید (شکل‌های ۲ و ۳). کوتاه‌ترین طول دوره رشد مربوط به تیمار بدون کاربرد زئولیت و تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی با ۱۰۷ روز در سال نخست و ۱۱۷ روز در سال دوم بود. بنا بر نتایج، کاربرد زئولیت در هر دو سال آزمایش موجب جلوگیری از کاهش شدید طول دوره رشد گیاه شاهدانه شد. با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، زئولیت با حفظ آب در منطقه ریزوسفر، ریشه گیاه را در تأمین بخشی از رطوبت مورد نیاز اندام‌های هوایی و در نتیجه کاهش آسیب ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و هدرروی آب یاخته‌های برگ گیاه یاری می‌کند (Bahador *et al.*, 2014).

(آزمون کولموگرو-اسمیرنو) و آزمون یکنواختی واریانس (آزمون بارتلت) روی داده‌ها صورت گرفت و پس از آن، داده‌های دو سال تجزیه مرکب شدند. بدین منظور عامل سال به صورت اثر تصادفی و عامل آبیاری و زئولیت به صورت اثر ثابت در نظر گرفته شد. برای انجام مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری×زئولیت، از روش برش‌دهی و به منظور مقایسه میانگین اثر ساده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) استفاده شد (Tadayon & Karimzadeh, 2017).

## نتایج و بحث

### تأثیر تیمارها بر پدیدشناسی

بیشترین طول دوره رشد گیاه شاهدانه در هر دو سال آزمایش متعلق به تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و



شکل ۲. تأثیر تیمار کم آبیاری بر پدیدشناسی شاهدانه در فصل رشد ۱۳۹۳

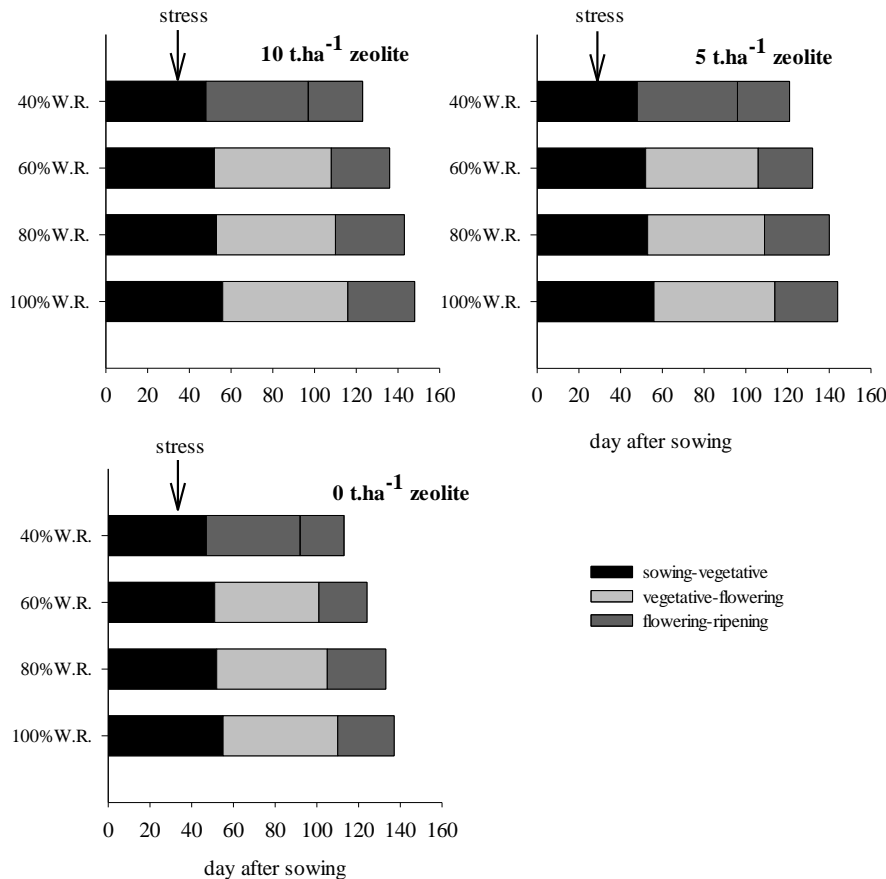
Fig. 2. Effect of deficit irrigation treatments on hemp phenology in 2014 growing season (W.R.: Water Requirement)

نسبت کاشت تا مرحله رویشی کوتاه‌تر شده است (شکل ۲). ممکن است زئولیت نقش مثبتی در به تأخیر انداختن زمان بروز تنش در تیمارهای مختلف نقش داشته است. همچنین مشاهده شد، مرحله کاشت تا مرحله رویشی در

در سال نخست (۱۳۹۳)، فاصله زمانی کاشت تا مرحله رویشی و مرحله رویشی تا گلدهی، در تیمارهای کاربرد زئولیت تا حدودی برابر بود، در حالی که در تیمار بدون کاربرد زئولیت، فاصله بالا از مرحله رویشی تا گلدهی به

مرحله رویشی را افزایش داده است، اما مقدار کاربرد آن تغییری در افزایش رخ داده، نداشته است.

تیمارهای کاربرد ۱۰ تن زئولیت با تیمارهای کاربرد ۵ تن زئولیت از نظر طول دوره، همانندی داشت، پس می‌توان نتیجه گرفت، کاربرد زئولیت طول دوره کاشت تا پایان



شکل ۳. تأثیر تیمار کم آبیاری بر پدیدشناسی شاهدانه در فصل رشد ۱۳۹۴

Fig. 3. Effect of deficit irrigation treatments on hemp phenology in 2015 growing season (W.R.: Water Requirement)

۱۶ درصد در سال نخست و ۱۸ درصد در سال دوم نسبت به تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود. با توجه به اینکه مقدار بالا در مرحله گلدهی تا رسیدگی و کاشت تا مرحله رویشی به ترتیب با ۱۷ و ۱۴ درصد در سال نخست و ۱۸ و ۱۶ درصد در سال دوم نسبت به تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود، می‌توان نتیجه گرفت در سال نخست آزمایش، بیشترین تأثیر بر مرحله گلدهی تا رسیدگی بوده است که احتمال دارد با کاهش وزن دانه (Ghanbari, 2015) موجب کاهش عملکرد کل شده باشد و در سال دوم آزمایش، تأثیر زیانبار تنش، بر کاهش مرحله‌های رویشی تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی همسان بود. بنابراین، بروز تنش در سال دوم آزمایش، هم با کاهش شمار دانه و هم وزن دانه (Ghanbari, 2015; Saadatian *et al.*)

کل طول دوره رشد گیاه در سال دوم آزمایش، نسبت به سال نخست بیشتر بود. به بیان دیگر، با توجه به شکل ۱، هنگامی که تنش بر گیاه اعمال شده بود، حدود ۲۰ میلی‌متر بارندگی رخ داد که خود، سبب کاهش دمای هوا شد. این تعدیل دما، هرچند از نظر مقدار ناچیز به نظر رسید، ولی کاهش تبخیر و نیز تنفس گیاه را در پی داشت. باین حال، نسبت تغییرپذیری طول دوره مرحله‌های مختلف زندگی گیاه تحت تأثیر زئولیت و تنش کم آبیاری همانند سال نخست آزمایش بود، به عبارت دیگر، در هر سطح کاربرد زئولیت، کاهش میزان آبیاری موجب کوتاه شدن طول کل دوره رشد به‌ویژه از آغاز مرحله رویشی تا پایان دوره رشد گیاه شد. مرحله رویشی تا گلدهی در شرایط کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان

درصد نیاز آبی و کاربرد ۵ تن زئولیت، بیشترین وزن خشک شاخساره را در سال نخست نشان داد و کاربرد ۱۰ تن زئولیت و بدون کاربرد زئولیت به همراه آبیاری کامل، در سطح آماری بعدی قرار گرفتند. در سال دوم نیز تیمار بدون تنش و ۵ تن زئولیت بالاترین مقدار وزن خشک شاخساره را داشت، اما برخلاف سال اول، در سال دوم بین کاربرد ۱۰ تن زئولیت و تیمار شاهد از نظر وزن شاخساره اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳).

(*al.*, 2014) سبب نبود زمینه دستیابی به ظرفیت (پتانسیل) تولید شد. با این وجود، کاهش صورت گرفته در سال دوم نسبت به سال نخست آزمایش کمتر بود.

### وزن خشک شاخساره

تجزیه واریانس وزن خشک شاخ و برگ نشان داد، به جز تأثیر سال، همه اثرگذاری‌های ساده و متقابل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). تأمین ۱۰۰

جدول ۲. میانگین مربعات و درجه آزادی صفات مورد بررسی

Table 2. Mean squares and degree of freedom of studied traits

Source Of Variation	df	Mean squares							
		Shoot weight		Oil yield	WUEby		WP		
Year (Y)	1	479	ns	0.002	ns	0.00005	ns	0.010	ns
Block(Year)	4	325		49.22		0.0004		0.0008	
Irrigation (I)	3	129899	**	1317	**	0.002	**	0.202	**
Y*I	3	863	**	9.819	**	0.001	**	0.030	**
Block*I(Y)	12	137		5.511		0.0004		0.003	
Zeolite (Z)	2	12464	**	235.4	**	0.141	**	0.217	**
Y*Z	2	878	**	9.010	**	0.006	**	0.020	**
I*Z	6	7437	**	35.041	**	0.012	**	0.021	**
Y*I*Z	6	1180	**	3.257	ns	0.002	**	0.006	ns
Error	32	132		1.918		0.0003		0.004	
CV (%)		4.57		6.81		5.35		7.62	

ns و \*\*، به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱ درصد

ns & \*\*: non-significant and significant at 1% level, respectively

WUEby: Water Use Efficiency of biological yield; WP: Water Productivity

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و زئولیت به روش برش‌دهی بر پایه سال

Table 3. Mean comparison of irrigation and zeolite interaction on slicing method by year

year	Water requirement	Zeolite (t.ha <sup>-1</sup> )	Shoot weight (g.m <sup>-2</sup> )	WUE by (g.m <sup>-2</sup> .mmH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )
Year 2014	100%	10	321.6	0.407
		5	416.3	0.38
		0	333.9	0.32
	80%	10	337.4	0.407
		5	214.8	0.35
		0	283.5	0.303
	60%	10	237.1	0.417
		5	184.1	0.327
		0	167.8	0.327
	40%	10	183.2	0.49
		5	144.1	0.33
		0	165.9	0.287
Year 2015	100%	10	360.2	0.457
		5	386.4	0.383
		0	333.7	0.33
	80%	10	333	0.403
		5	246.3	0.38
		0	239.8	0.29
	60%	10	258.5	0.463
		5	206.1	0.297
		0	200.2	0.287
	40%	10	187.3	0.537
		5	156	0.23
		0	143.9	0.267

در هر سال، میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، سطح ۵ درصد).

In each year, means with same letter in each column was non-significant (LSD test, 5% level)

WUEby: Water Use Efficiency of biological yield

## عملکرد روغن

تأثیر سال و برهمکنش سه گانه عامل‌های مورد بررسی بر عملکرد روغن معنی‌دار نبود، اما تأثیر آبیاری، زئولیت و نیز برهمکنش دوگانه آبیاری و زئولیت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). آبیاری کامل و کاربرد ۱۰

تن زئولیت، موجب تولید بیشترین عملکرد روغن شد، به طوری که نسبت به تیمار ۸۰ درصد آبیاری، ۲۲ درصد و نسبت به تیمار شاهد ۳۱ درصد و نسبت به تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و بدون زئولیت، عملکرد روغن ۷۲ درصد بالاتر بود (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و زئولیت بر بهره‌وری آب و عملکرد روغن دانه

Table 4. Means comparison of irrigation and zeolite interaction on water productivity and grain oil yield

Water requirement	Zeolite (t.ha <sup>-1</sup> )	Oil yield (g.m <sup>-2</sup> )	WP (g. m <sup>-2</sup> .mmH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )
100%	10	36.27	0.112
	5	30.98	0.100
	0	25.09	0.083
80%	10	28.40	0.104
	5	21.51	0.082
	0	19.63	0.081
60%	10	17.23	0.081
	5	17.41	0.083
	0	14.34	0.069
40%	10	12.19	0.081
	5	10.99	0.077
	0	9.97	0.069

در هر سال، میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، سطح ۵ درصد).

In each year, means with same letter in each column was non-significant (LSD test, 5% level)

WP: Water Productivity

خشکی است. افزون بر این، مشخص شده است کاربرد زئولیت با حفظ تعادل آبی گیاه در شرایط تنش خشکی، به بهبود رشد و تولید گیاه منجر شده است (Stevenson *et al.*, 2007). در پژوهشی با بدون کاربرد زئولیت، عملکرد روغن در تنش‌های متوسط و شدید رطوبتی نسبت به عدم تنش به ترتیب ۶۶ و ۸۹ درصد کاهش یافت، در حالی که با کاربرد زئولیت، این اختلاف به ترتیب به ۵۵ و ۸۳ درصد کاهش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد، حضور زئولیت در شرایط محدودیت رطوبت خاک سبب افزایش عملکرد روغن شد که دلیل آن را تأثیر مثبت زئولیت بر رطوبت خاک و نگهداری مواد غذایی عنوان کردند (Motaghi *et al.*, 2015). نتایج این پژوهش با نتایج دیگر پژوهشگران همخوانی داشت (Eskandari Zanjani *et al.*, 2011; Shirani-Rad *et al.*, 2011).

### کارایی مصرف آب بر پایه عملکرد زیست‌توده و بهره‌وری آب

بنا بر نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات، مشخص شد

با توجه به اینکه میانگین دمای هوا در سال دوم آزمایش نسبت به سال نخست پایین‌تر بوده، احتمال می‌رود گیاه شدت تنش کمتری را درک کرده، به دنبال آن روزنه‌ها فعالیت خود در انتقال دی‌اکسید کربن به درون یاخته‌های بافت میان‌برگ (مزوفیل) به منظور تولید ماده خشک را ادامه داده‌اند و در نتیجه عملکرد دانه و به دنبال آن، عملکرد روغن بیشتری به دست آمده است. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است، میزان روغن دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری قرار گرفت و بیشترین میزان آن مربوط به تیمار آبیاری معمول و کمترین میزان به تیمار قطع آبیاری در مرحله میوه‌دهی تعلق داشته است (Naeemi *et al.*, 2014). در نتایج بررسی‌هایی دیگر گزارش شده است، تنش کم‌آبی در مرحله ساقه‌دهی به کاهش ۱۴ درصدی روغن دانه منجر شده است (Ghiasvand Ghiasi *et al.*, 2014). کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار، به دلیل ویژگی جذب، نگهداری و افزایش دسترسی به رطوبت در شرایط تنش خشکی، موجب کاهش شدت و تأثیر تنش در گیاه شده است که نشان‌دهنده کاهش اثرگذاری‌های تنش



دیده نشد، اما کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار اختلاف معنی‌داری با دیگر سطح‌ها داشت) مشاهده شد. نبود اختلاف بین سطح‌های کاربرد ۵ تن زئولیت و بدون زئولیت در صفت بهره‌وری آب در سطح تنش تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. با افزایش کاربرد زئولیت در هر سطح تنش کم آبیاری اعمال شده، میزان مصرف آب به ازای هر واحد تولید دانه (بهره‌وری آب) و همچنین هر واحد تولید ماده خشک (کارایی مصرف آب بر پایه ماده خشک تولیدی) کاهش یافت. به دیگر سخن، کاربرد زئولیت موجب افزایش بازده تولید در گیاه روغنی- دارویی شاهدانه شده است که همسان نتایج به‌دست‌آمده در گیاهان زراعی دیگر بود (Tadayon & Karimzadeh Soureshjani, 2017; Majidian, 2000; Khashei Sivaki *et al.*, 2009).

#### محتوای آب برگ

بررسی میانگین تیمارهای آبیاری در سال نخست نشان داد، تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی بالاترین محتوای آب برگ را در مرحله‌های رویشی و زایشی به خود اختصاص داد، به‌طوری‌که در مرحله رویشی، نسبت به تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی، ۱۱ درصد و نسبت به کمترین محتوای آب برگ (۴۰ درصد نیاز آبی)، ۴۷ درصد بیشتر بود و در مرحله زایشی نیز اختلاف بین بیشترین و کمترین درصد محتوای آب برگ، ۴۹ درصد به دست آمد (جدول ۵). بنا بر مقایسه میانگین اثر زئولیت در سال نخست (جدول ۶) مشخص شد کاربرد ۱۰ تن زئولیت و بدون کاربرد زئولیت در کل فصل رشد (مرحله‌های رویشی و زایشی) به ترتیب بیشترین و کمترین درصد محتوای آب برگ را داشتند و اختلاف بین آن‌ها ۶/۹ درصد در مرحله رویشی و ۱۳/۵ درصد در مرحله زایشی بود. چون در گیاهان زراعی، روزه‌ها اغلب در واکنش به خشکی بی‌درنگ پس از هرگونه تغییر قابل توجه در پتانسیل آب برگ و رطوبت برگ بسته می‌شوند (Miyashita *et al.*, 2005)، از این‌رو، شاید بتوان کاهش در میزان رطوبت برگ را به‌عنوان شاخصی در بروز تنش خشکی بیان کرد. احتمال دارد کاربرد زئولیت و حفظ رطوبت خاک، به سبب کاهش تولید نشانه (سیگنال)های بروز تنش خشکی در محیط ریشه گیاه، موجب شده باشد، با تأمین رطوبت کاهش محتوای آب برگ کمتر باشد. در تأیید این مطلب، Rigoberto *et al.* (2004) در نتایج

به‌جز تأثیر سال، همه اثرهای ساده و متقابل دوگانه بین آبیاری و زئولیت بر کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب معنی‌دار بود ولی برهمکنش سه‌گانه سال×آبیاری×زئولیت بر بهره‌وری آب معنی‌دار نشد (جدول ۲). کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار در شرایط تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی، بیشترین بازده تولید ماده خشک به ازای آب مصرفی را داشت و پس از آن، ترکیب تیماری ۱۰ تن زئولیت و ۶۰ درصد نیاز آبی، ۱۰ تن زئولیت و ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب با ۱۷، ۱۷ و ۱۷ درصد کاهش، از نظر آماری در یک سطح قرار گرفتند (جدول ۳). از سوی دیگر، به کارنبردن زئولیت و به ترتیب تأمین ۴۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال نخست، کمترین کارایی زیست‌توده (بیوماس) به ازای آب مصرف‌شده (به ترتیب با ۴۲، ۳۹ و ۳۵ درصد کاهش نسبت به کاراترین تیمار در تولید ماده خشک) را داشت. در سال دوم آزمایش نیز ترکیب ۱۰ تن زئولیت و ۴۰ درصد نیاز آبی، همانند سال پیش از آن، بالاترین کارایی مصرف آب را داشت و نسبت به تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت و ۶۰ درصد نیاز آبی و شاهد به ترتیب ۱۴ و ۳۹ درصد بیشتر بود. کمترین کارایی تولید زیست‌توده به ازای آب مصرفی در سال دوم نیز مربوط به تیمار ۵ تن زئولیت و ۴۰ درصد نیاز آبی بود. بیشترین بهره‌وری آب در تیمارهای کاربرد ۱۰ تن زئولیت و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۲۶ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد و دیگر تیمارها در مراتب بعدی آماری قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین تیمارهای بدون کاربرد زئولیت و تأمین ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی با ۱۷ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد، کمترین عملکرد دانه به ازای آب مصرفی را تولید کردند. نتایج پژوهش Khashei Sivaki *et al.* (2009) و Tadayon & Karimzadeh Soureshjani (2017) نشان داد، تأثیر تیمارهای زئولیت و تنش رطوبتی و برهمکنش آن‌ها بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود، به‌گونه‌ای که در شرایط نبود زئولیت با افزایش شدت تنش خشکی کارایی مصرف آب افزایش یافت. در سال نخست آزمایش، در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، با افزایش میزان کاربرد زئولیت، کارایی مصرف آب بر پایه زیست‌توده تولیدی افزایش یافت. نتایج همسانی در دیگر سطح‌های تنش کم آبیاری به‌جز تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی (اختلافی بین کاربرد ۵ تن در هکتار زئولیت و بدون کاربرد از زئولیت

(جدول ۷). در این رابطه پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود بیان کرده‌اند، ممکن است بین شرایط تنش خشکی با شرایط مطلوب آبیاری در صفت محتوای آب برگ اختلاف معنی‌دار نباشد، اما انرژی صرف‌شده گیاه برای تنظیم اسمزی باعث کاهش قابل توجه عملکرد شود (Torabi *et al.*, 2014).

بررسی‌های خود بیان کردند، بالا بودن محتوای نسبی آب برگ، به خاطر وجود سازوکارهای کاهش‌دهنده هدررفت آب از راه روزنه‌ها (بسته شدن روزنه‌ها) و یا به واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه سامانه ریشه‌ای بوده است. در سال دوم آزمایش، اختلاف معنی‌داری در مرحله رویشی بین تیمارهای تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در سطح‌های کاربرد ۱۰ و ۵ تن زئولیت در هکتار دیده نشد

جدول ۵. مقایسه میانگین تأثیر آبیاری بر محتوای آب برگ در طول فصل رشد ۱۳۹۳

Table 5. Mean comparison of irrigation effect on leaf water content during 2014 growing season

Water requirement	Vegetative Water Content (%)		Reproductive Water Content (%)	
100%	58.77	a	50.57	a
80%	52.32	b	41.25	b
60%	44.03	c	32.47	c
40%	31.14	d	25.91	d

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، سطح ۵ درصد).

In each column, means with same letter was non-significant (LSD test, 5% level)

جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر زئولیت بر محتوای آب برگ در طول فصل رشد ۱۳۹۳

Table 6. Mean comparison of zeolite effect on leaf water content during 2014 growing season

Zeolite (t.ha <sup>-1</sup> )	Vegetative Water Content (%)		Reproductive Water Content (%)	
10	48.44	a	39.81	a
5	46.17	b	38.42	b
0	45.10	c	34.42	c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، سطح ۵ درصد).

In each column, means with same letter was non-significant (LSD test, 5% level)

در هکتار، موجب کاهش ۳۱ درصدی کمبود اشباع آب برگ شد. در آزمایشی دیگر تأثیر کاربرد زئولیت در شرایط تنش خشکی بر رشد و نمو چمن کنتاکی نشان داد، زئولیت در شرایط تنش موجب افزایش رطوبت نسبی برگ شد (Abdi, 2010). پژوهشگران دلیل آن را ویژگی جذب و دفع آب به صورت برگشت‌پذیری زئولیت مطرح کردند که با تحریک رشد ریشه، افزایش جذب آب توسط ریشه‌ها و فراهمی بالاتر رطوبت خاک در اطراف ریشه‌ها موجب بالاتر ماندن میزان رطوبت برگ در شرایط تنش کم‌آبی شده است (Naeemi *et al.*, 2012). بنا بر نتایج سال دوم آزمایش، در پژوهش Torabi *et al.* (2014) بیشترین کمترین میزان محتوای آب برگ نیز به ترتیب در تیمار آبیاری در ۱۰۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (در دو مرحله اندازه‌گیری در طول فصل رشد) به دست آمد که با نتایج دیگر پژوهشگران همخوانی داشت (Efeoğlu *et al.*, 2009; Islam *et al.*, 2011; Ping *et al.*, 2006). همچنین، پژوهشگران دلیل بالاتر بودن محتوای آب برگ را به تقویت

در سال دوم آزمایش، تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰ تن زئولیت در کل فصل رشد بیشترین محتوای آب برگ را نشان داد و کمترین محتوای آب برگ در تیمارهای ۴۰ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد زئولیت در کل فصل رشد و کاربرد ۵ تن زئولیت در مرحله رویشی به دست آمد (جدول ۷). تغییرهای ایجادشده در محتوای آب نسبی برگ در شرایط مختلف تنش با یافته‌های انجام‌شده بر گیاهان کلزا و شلغم علوفه‌ای (Azari *et al.*, 2012) و گندم (Jiang & Huang, 2002) همخوانی داشت، به طوری که افزایش تنش خشکی مقدار آب نسبی گیاه گندم را کاهش داد. در نتایج پژوهشی، Naeemi *et al.* (2012) بیان کردند، اعمال تیمار کم آبیاری سبب افزایش کمبود اشباع آب برگ شد و نتایج همسانی نیز توسط دیگر محققان گزارش شده است (Sepeshri & Golparvar, 2011; Kumar *et al.*, 2011) که در نتایج بررسی‌های خود بیان کردند، مصرف زئولیت موجب افزایش ۱۲ درصدی محتوای آب نسبی برگ نسبت به تیمار بدون کاربرد زئولیت شد و کاربرد ۱۰ تن زئولیت

رشد شبکه ریشه‌ای و جذب آب از اعماق خاک نسبت دادند که در این پژوهش نیز به احتمال زئولیت چنین فرایندی را

سبب شده است (Karimzadeh et al., 2016).

جدول ۷. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و زئولیت بر محتوای آب برگ در طول فصل رشد ۱۳۹۴

Table 7. Mean comparison of irrigation and zeolite interaction on leaf water content during 2015 growing season

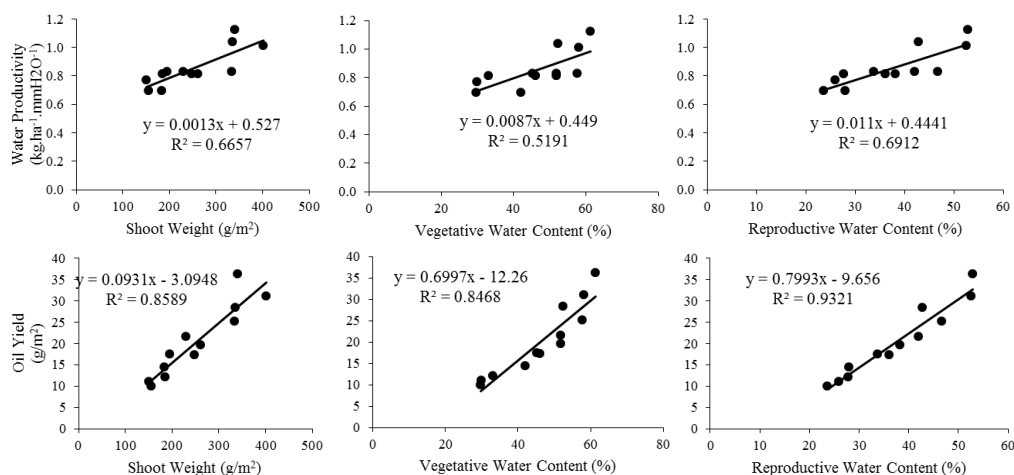
Water requirement	Zeolite (t.ha <sup>-1</sup> )	Vegetative Water Content (%)	Reproductive Water Content (%)
100%	10	61.74 <sup>a</sup>	53.37 <sup>a</sup>
	5	58.02 <sup>b</sup>	52.98 <sup>a</sup>
	0	58.08 <sup>b</sup>	46.13 <sup>b</sup>
80%	10	51.46 <sup>c</sup>	41.98 <sup>c</sup>
	5	51.81 <sup>c</sup>	42.26 <sup>c</sup>
	0	51.86 <sup>c</sup>	38.1 <sup>d</sup>
60%	10	46.09 <sup>d</sup>	36.65 <sup>d</sup>
	5	46.08 <sup>d</sup>	33.99 <sup>e</sup>
	0	42.44 <sup>e</sup>	27.54 <sup>f</sup>
40%	10	32.45 <sup>f</sup>	27.71 <sup>f</sup>
	5	29.35 <sup>g</sup>	25.73 <sup>f</sup>
	0	29.73 <sup>g</sup>	23.35 <sup>g</sup>

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، سطح ۵ درصد).

In each column, means with same letter was non-significant (LSD test, 5% level)

باشد. با توجه به شکل ۴ مشخص شد ارتباط عملکرد روغن با محتوای آب برگ به‌ویژه در مرحله زایشی بسیار بالا بود. عملکرد روغن تابع عملکرد دانه بوده و احتمال دارد مرحله زایشی سهم بیشتری در تعیین آن داشته باشد، لذا شاید بتوان از دلایل بیشتر بودن عملکرد در سال دوم نسبت به سال نخست را تعادل بهتر آب در تولید گیاه بیان کرد.

بررسی ارتباط ویژگی‌های مورد بررسی در دو سال آزمایش نشان داد، بهره‌وری آب با صفات وزن شاخساره و محتوای آب برگ در کل فصل رشد ارتباط تنگاتنگی داشت (شکل ۴). همچنین نتایج نشان داد، به‌منظور تولید عملکرد کیفی بالاتر، لازم است رابطه‌های آبی گیاه به‌ویژه برگ‌ها در طول فصل رشد و به‌ویژه در اواخر فصل که مقصدهای فیزیولوژیک در حال تشکیل و ذخیره‌سازی هستند، بهینه



شکل ۴. ارتباط بهره‌وری آب و عملکرد روغن با وزن شاخساره و محتوای آب برگ در مرحله‌های رویشی و زایشی (میانگین دو سال)

Fig. 4. Relationship between Water Productivity and Oil Yield with Shoot Weight and Vegetative & Reproductive

کم‌آبی، از مهم‌ترین هدف‌های بخش کشاورزی است. از این‌رو، بررسی راهکارهای کاهش مصرف آب با کمترین

### نتیجه‌گیری کلی

امروزه رویارویی با آسیب‌های ناشی از بروز تنش خشکی و

راهکارهای رویارویی با تنش موجب بهبود مقادیر صفات بالا شد. زئولیت موجب جلوگیری از افت بهره‌وری آب در نتیجه کم‌آبی در شاهدانه شد. به‌طور کلی توصیه می‌شود در صورت کاهش تأمین آب آبیاری از سطح ۱۰۰ درصد به سطح‌های ۸۰ و ۶۰ درصد، با کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار می‌توان از آسیب ایجادشده به‌ویژه در مرحله زایشی گیاه شاهدانه کاست. همچنین با توجه به نداشتن چالش‌های زیست‌محیطی کاربرد زئولیت و دستیابی به مطلوب‌ترین نتیجه در تیمار کاربرد ۱۰ تن، بررسی کاربرد مقادیر بیشتر زئولیت نیز ضروری به نظر می‌رسد.

تأثیر بر رشد و عملکرد گیاهان روغنی-دارویی اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش کاهش میزان مصرف آب با توجه به نیاز آبی محاسبه‌شده در دو سال آزمایش نشان داد، کمبود رطوبت خاک، بر دوره زایشی گیاه مانند گلدهی تا رسیدگی بیشتر از دوره رویشی گیاه شاهدانه تأثیر منفی داشت، اما کاربرد زئولیت در شرایط کم‌آبی سبب کاهش آسیب ناشی از کمبود رطوبت خاک شد. تأثیر کمبود رطوبت خاک بر اندام‌های زایشی گیاه در نهایت سبب کاهش عملکرد روغن، به‌عنوان تابعی از عملکرد دانه، در گیاه شاهدانه شد، اما کاربرد زئولیت به‌عنوان یکی از

## REFERENCES

1. Abdi, Gh.R. (2010). Evaluation the effects of zeolite and drought stress on growth and development of grass Kentucky bluegrass. In: *Proceedings of Iranian international zeolite conference*, Tehran University, Tehran, Iran, pp. 294. (In Farsi).
2. Ajibola, O.O., Enijemo, S.E., Fasina, O.O. & Adeeko, K.A. (1990). Mechanical expression of oil from melon seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 45, 45-53.
3. Aladic, K., Jarni, K., Barbir, T., Vidovic, S., Vladic, J., Bilic M. & Jokic, S. (2015). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil. *Industrial Crops and Products*, 76, 472-478.
4. Anwar, F., Latif, S. & Ashraf, M. (2006). Analytical characterization of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil from different agro-ecological zones of Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83, 323-329.
5. Azari, A., Modares Sanavi, S.A.M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A.M. & Alizadeh, B. (2012). Effect of salt stress on morphological and physiological traits of two species of rapeseed (*Brassica napus* and *B. rapa*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(2), 121-135. (In Farsi).
6. Bahador, M., Abdali, A., Siadat, S.A., Fathi, Gh. & Iotfi, A. (2014). Effect of zeolite and seed priming on grain nitrogen content, leaf chlorophyll and traits dependent to grain yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, 4(11), 137-147. (In Farsi).
7. Efeoglu, B., Ekmekçi, Y. & Çiçek, N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75, 34-42.
8. Eskandari Zanjani, K., Shirani-Rad, A.H., Naeimi, M., Moradi Aghdam, A. & Taherkhani, T. (2011). Investigation the effects of zeolite and selenium foliar application on physiologic and agronomic traits of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under different irrigation regimes. *Crop Production in Environmental Stress*, 3(1), 71-85. (In Farsi).
9. Gao, S.J., Wang, W.J. & Guo, T.C. (2004). C-N metabolic characteristics in flag leaf and starch accumulating developments in seed during grain filling stage in two winter wheat cultivars with different spike type. *Acta Agronomica Sinica*, 29(3), 427-431.
10. Ghanbari, A.A. (2015). Developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water deficit conditions. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 107, 190-199. (In Farsi)
11. Ghiasvand Ghiasi, A., Akbari, G.A., Shirani-Rad, A.H., Alahdadi, I. & Naeemi, M. (2014). Effect of zeolite and nitrogen fertilizer application under water deficit stress conditions on agronomical and physiological traits of rapeseed. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(12), 73-86. (In Farsi).
12. Gholizadeh, A., Amin, M.S.M., Anuar, A.R., Esfahani, M. & Saberioon, M.M. (2010). The study on the effect of different levels of zeolite and water stress on growth, development and essential oil content of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.). *American Journal of Applied Sciences*, 7, 33-37.
13. Harb, E.M.Z. & Mahmoud, M.A. (2009). Enhancing of growth, essential oil yield and components of yarrow plant (*Achillea millefolium* L.) growth under safe agriculture conditions using zeolite and compost. In: *Proceedings of 4<sup>th</sup> Conference on Recent Technologies in Agriculture*, Giza, Egypt.
14. Hasanzadeh, M., Naderi Darbaghshahi, M.R. & Shirani-Rad, A.H. (2006). Evaluation the effects of drought stress on yield and yield components of high yielding winter rapeseed varieties in Isfahan region. *Journal of farm animal nutrition and physiology*, 1, 51-62. (In Farsi).
15. Islam, M.R., Hu, Y., Mao, S., Mao, J., Enejid, A.E. & Xuea, X. (2011). Effectiveness of a water-saving super-absorbent polymer in soil water conservation for corn (*Zea mays* L.) based on eco-physiological parameters. *Journal of the science of food and agriculture*, 91, 1998-2005.

16. Jiang, Y. & Huang, B.T. (2002). Response of anti-oxidative defense system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. *Plant Science*, 163, 783-790.
17. Karimi, H. (2007). *Crop plants* (6th ed.). University of Tehran Press. (In Farsi).
18. Karimzadeh, H., Nezami, A., Kafi, M. & Tadayon, M.R. (2016). Study of changes in stomatal conductance, leaf canopy temperature and leaf water content of pinto bean genotypes in deficit irrigation conditions. *Crop physiology journal*, 8(30), 105-120. (In Farsi).
19. Khashei Sivaki, A., Kouchakzadeh, M. & Shahabifar, M. (2009). The effect of natural zeolite Clinoptilolite application and soil moisture on corn yield components. *Iranian journal of soil science*, 22(2), 235-241. (In Farsi).
20. Koucheki, A. & Nasiri Mahalati, M. (2005). *Crop ecology*. Jahad-daneshgahi publication of Mashhad. (In Farsi)
21. Kumar, R.R., Karajol, K. & Naik, G.R. (2011). Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill sp.). *Recent Research in Science and Technology*, 3, 148-152.
22. Majidian, M. (2000). *The effect of different amounts of nitrogen and water stress in different growth stages on physiological characteristics, yield and yield components of corn (Zea mays L.) in Kooshkak in Fars province*. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shiraz University, Iran. (In Farsi).
23. Mediavilla, V., Jonquera, M., Schmid-Slembrouck, I. & Soldati, A. (1998). Decimal code for growth stages of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the international hemp association*, 5, 68-74.
24. Ministry of Agriculture- Jahad. (2016). *Agricultural Statistics, 1st volume: Crops*. Retrieved April 12, 2015, from <http://www.maj.ir/>. (In Farsi).
25. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T. & Kimura, K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and experimental botany*, 53(2), 205-214.
26. Molnar, I., Gaspar, L., Stehli, L., Dulai, S., Sarvari, E., Kiraly, I., Galiba, G. & Molnar-Lang, M. (2002). The effects of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and of *Aegilops biuncialis* genotypes originating from various habitats. *Acta Biologica Szegediensis*, 46, 115-116.
27. Mori, S., Emam, Y. & Karimzadeh Sureshjani, H. (2012). Effect of cutting off irrigation at flowering stage on physiological characters, yield and yield components of wheat genotypes in Shiraz. *Journal of crop production and processing*, 2(4), 105-119. (In Farsi).
28. Motaghi, L., Alahdadi, I., Shirani-Rad, A.H., Akbari, Gh.A. & Hasanlou, T. (2015). Evaluation the effect of zeolite on yield and yield components of rapeseed genotypes under water deficit conditions. *Journal of crops improvement*, 16(2), 381-397. (In Farsi).
29. Naeemi, M., Akbari, Gh.A., Shirani-Rad, A.H., Hassanloo, T. & Akbari, Gh.A. (2012). Effect of zeolite application and selenium spraying on water relations traits and antioxidant enzymes in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of crops improvement*, 14(1), 67-81. (In Farsi).
30. Naeemi, M., Akbari, Gh.A., Shirani-Rad, A.H., Hassanloo, T., Akbari, Gh.A. & Amirinejad, M. (2014). The impact of zeolite application and selenium foliar in different water regimes on some physiological characteristics and pumpkin seed yield. *Journal of crops improvement*, 17(3), 635-647. (In Farsi).
31. Ping, B., Fang Gong, S., Ti Da, G., Zhao Hui, S., Yin Yan, L. & Guang Sheng, Z. (2006). Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. *Pedosphere*, 16(3), 326-332.
32. Polat, E., Karaca, M., Demir, H. & Naci Onus, A. (2004). Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 183-189.
33. Rigoberto, R.S., Joseu, K.S., Jorge Alberto, A.G., Carlos, T.L., Joaquin, O.C. & Kelly, J.D. (2004). Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field crops research*, 85(6), 203-211.
34. Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez Valentín, R., Olvera Carrillo, Y., Acosta Gallegos, J. & Covarrubias, A.A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant physiology and biochemistry*, 56, 24-34.
35. Saadatian, B., Soleymani, F. & Ahmadvand, G. (2014). Response of phenological stages and chlorophyll index of wheat cultivars at different salinity levels and their relation to yield. *Journal of science and technology of greenhouse culture*, 5(19), 21-35. (In Farsi).
36. Sepehri, A. & Golparvar, A.H. (2011). The Effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Electronic journal of biology*, 7, 49-53.
37. Shirani-Rad, A.H., Moradi Aghdam, A., Taherkhani, T., Eskandari, K. & Nazari Golshan, A. (2011). Evaluation the response of canola to nitrogen rates and irrigation regimes on application and no-application of zeolite conditions. *Journal of crop ecophysiology*, 3(4), 296-306. (In Farsi).

38. Soleimanzadeh, H., Latifi, N. & Soltani, A. (2008). Relationship of phenology and physiological traits with grain yield in different cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of agricultural science and natural resources*, 14(5), 47-61. (In Farsi).
39. Stevenson, D.G., Eller, F.J., Wang, L., Jane, J.L., Wang, T. & Inglett, G.E. (2007). Oil and tocopherol content and composition of pumpkinseed oil in 12 cultivars. *Agricultural and Food Chemistry*. 55(10): 4005-4013.
40. Taiz, L. & Zeiger, E. (2007). *Plant Physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
41. Tadayon, M.R. & Karimzadeh Soureshjani, H. (2017). Effect of zeolite on physiological and biochemical attributes of proso millet (*Panicum miliaceum*) in deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(2), 443-452. (In Farsi).
42. Tommasini, L., Svensson, J.T., Rodriguez, E.M., Wahid, A., Malatrasi, M., Kato, K., Wanamaker, S., Resnik, J. & Close, T.J. (2008). Dehydrin gene expression provides an indicator of low temperature and drought stress: transcriptome-based analysis of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Functional integrative genomics*, 8, 387- 405.
43. Torabi, A., Farahbakhsh, H. & Khajoienejad, Gh.R. (2014). Effect of different irrigation regimes and zeolite super absorbent on the yield and yield components of forage sorghum. *Agricultural crop management*, 15(3), 1-14. (In Farsi).