

Simulating response of lentil cultivars to sowing date and initial soil moisture in Lorestan province

Mojtaba Koohro¹, Sajjad Rahimi-Moghaddam^{2*}, Khosro Azizi³, Saeid Heidari², ,
Seyed Reza Amiri⁴

1. M.Sc. Graduated, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran.
2. Assistant Professor., Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran.
3. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran.
4. Associate Professor., Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Saravan University, Saravan, Iran.

Citation: Koohro, M., Rahimi-Moghaddam, S., Azizi, KH. Heidari, S., Amiri, S.R. (2024). Simulating response of lentil cultivars to sowing date and initial soil moisture in Lorestan province. *Plant Productions*, 47(3),475 - 489 .

Abstract

Introduction

Legumes are the second food source after cereals, which provide almost a quarter of protein for developing countries. Lentil is recognized as one of important legumes due to its favourable characteristics. The lintile production, like to other crops has been influenced by three factors: management, genetics, and environment. Improving crop production can be achieved by optimizing these factors. Thus, paying attention to the above-mentioned factors can reduce the severe climatic effects on crop production. Among the above-mentioned factors, management strategies e.g., optimal sowing date and using the optimal cultivar are considered to improve crop production. Initial soil moisture, which can affect crop germination, establishment and ultimately growth and yield, is another important strategy. Accordingly, the current research was conducted in order to simulate the effects of cultivar, sowing date, and initial soil moisture on lentil grian yield in different locations of Lorestan province.

Materials and Methods

The study locations were Aligudarz, Nurabad, KhorramAbad, and Kuhdasht. Simple Simulation Models-iCrop2 (SSM-iCrop2) was used to simulate the lentil growth and development. The data required to run model included climatic, soil, management, and crop data. Daily long-term climatic data including maximum and minimum temperature, rainfall, and radiation were collected from Iran Meteorological Organization. The soil data included soil depth, soil water content at wilting point, soil water content at field capacity, and saturation water content, which were obtained from different data collection in the Ministry of Agriculture and Agricultural, the Natural Resources Research and Education Centers, and soil laboratories at each location and Food and Agriculture Organization and Global yield Gap Atlas. The management data such as palnt density, tillage, rows distance, and sowing depth were obtained by local experts from the Ministry of Agriculture and Agricultural and the Natural Resources Research and Education Centers at each location. The crop data e.g., the specific genetic coefficients of each cultivar were obtained form Amiri and Deihimfard (2018). The study treatments consisted of four sowing dates (21 January, 12 February, 4 March, and 30 April), two cultivars (early-maturity and late-maturity) and four initial soil moisture (32, 36, 42, and 58 mm). The model was run for 41 years (1980-2020). Initial soil water contents and sowing dates were obtained from a preliminary simulation experiment.

Results and Discussion

* **Corresponding Author:** Sajjad Rahimi-Moghaddam
E-mail: rahimi.s@lu.ac.ir

Averaged across all treatments, the highest grain yield was obtained at KhorramAbad (388 kg ha^{-1}) due to higher rainfall during the growing season. In addition, the grain yield difference among the sowing dates ranged from kg ha^{-1} on 30 April to 364 kg ha^{-1} on 21 January. The reason for the higher grain yield on 21 January sowing date was the higher cumulative rainfall season (149.3 mm vs. 99.2 mm) and the lower mean temperature ($22.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $23.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$) during the growing season compared to other sowing dates. Across locations, sowing dates, and cultivars, the highest grain yield (263 kg ha^{-1}) was simulated under initial soil moisture of 58 mm . Also, on average across sowing dates, initial soil moisture contents, and locations, the early-maturity cultivar simulated more grain yield than late-maturity cultivar (405 kg ha^{-1} vs. 63 kg ha^{-1}) due to the avoidance of drought stress at the end of the growing season. Considering different interactions, on average across locations, the highest grain yield was simulated by 704 kg ha^{-1} in the combination of early-maturity cultivar, early sowing date (21 January), and initial soil moisture of 58 mm .

Conclusion

In general, the results indicated that the lentil grain yield varied among the various study treatments (sowing date, cultivar, and initial soil moisture) as well as different locations of Lorestan province. Lentil growers can increase the lentil production in Lorestan province and study locations by using the interaction of early planting date (21 January) \times early-maturity cultivar (Kimia) \times higher initial soil moisture (58 mm). It should be noted that the current research was conducted under water-limited condition and it is suggested that researchers focus on other limiting and reducing factors in the future studies.

Keywords: Grain yield; Length of growing season; Rainfed conditions; SSM-iCrop2 model.

شبیه‌سازی پاسخ ارقام عدس به تاریخ کاشت و رطوبت اولیه خاک در استان لرستان

مجتبی کوهرو^۱ ID، سجاد رحیمی مقدم^{۲*} ID، خسرو عزیزی^۳ ID، سعید حیدری^۲ ID، سیدرضا امیری^۴ ID

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
- ۲- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
- ۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
- ۴- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران.

چکیده

حبوبات پس از غلات دومین منبع غذایی در کشورهای در حال توسعه هستند و تقریباً یک چهارم نیاز پروتئین در این کشورها توسط حبوبات تامین می‌گردد. تولید عدس مانند گیاهان دیگر تحت تاثیر سه فاکتور مدیریت، ژنتیک و محیط می‌باشد. با بهینه‌سازی این عوامل می‌توان به تولید بیشتری دست پیدا کرد. بر این اساس، مطالعه حاضر به منظور شبیه‌سازی اثرات رقم، تاریخ کاشت و رطوبت اولیه خاک بر عملکرد دانه عدس در مناطق مختلف استان لرستان انجام شد. مناطق مورد بررسی شامل الیگودرز، نورآباد، خرم‌آباد و کوهدهشت بودند. به منظور شبیه‌سازی رشد و نمو محصول عدس از مدل SSM-iCrop2 استفاده شد. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل شامل داده‌های اقلیمی، خاکی، مدیریتی و گیاهی بودند. تیمارهای مورد بررسی شامل چهار تاریخ کاشت (۹ بهمن، ۲۳ بهمن، ۱۳ اسفند و ۳۰ فروردین)، دو رقم (زودرس و دیررس) و چهار آب اولیه خاک (۳۲، ۳۶، ۴۲ و ۵۸ میلی‌متر) بودند. تعداد سال‌های شبیه‌سازی برابر با ۴۱ سال (۱۳۹۹-۱۳۵۸) بود. برای به دست آمدن آب‌های اولیه خاک و تاریخ کاشت‌ها یک آزمایش اولیه شبیه‌سازی انجام شد. نتایج نشان داد که به طور میانگین در همه‌ی تیمارهای مورد بررسی، بالاترین عملکرد دانه با ۳۸۸ کیلوگرم در هکتار در منطقه خرم‌آباد به علت طول فصل رشد بیشتر بدست آمد. همچنین اختلاف ایجاد شده توسط تیمارهای تاریخ کاشت از ۱۲۴ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین تا ۳۶۴ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۹ بهمن بود. دلیل بالا بودن عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۹ بهمن نسبت به تاریخ کاشت‌های دیگر بیشتر بودن بارندگی تجمعی در طول فصل رشد (۱۴۹/۳ میلی‌متر در مقابل ۹۹/۲ میلی‌متر) و پایین‌تر بودن میانگین دما در طول فصل رشد (۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد در مقابل ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد) بود. به طور میانگین در همه‌ی مناطق، تاریخ کاشت‌ها و ارقام مورد بررسی بیشترین عملکرد دانه (۲۶۳ کیلوگرم در هکتار) در آب اولیه خاک ۵۸ میلی‌متر شبیه‌سازی شد. همچنین به طور میانگین در همه‌ی تاریخ کاشت‌ها، آب‌های اولیه خاک و مناطق، عملکرد دانه رقم زودرس (۴۰۵ کیلوگرم در هکتار) به علت اجتناب از تنش خشکی آخر فصل بیشتر از رقم دیررس (۶۳ کیلوگرم در هکتار) بود. با در نظر

* نویسنده مسئول: سجاد رحیمی مقدم

گرفتن برهمکنش‌های مختلف به طور میانگین در همه‌ی مناطق، بیشترین عملکرد دانه با ۷۰۴ کیلوگرم در هکتار در برهمکنش رقم زودرس، تاریخ کاشت ۹ بهمن و آب اولیه خاک ۵۸ میلی‌متر شبیه‌سازی شد. به طور کلی نتایج مشخص کرد که عملکرد دانه عدس در بین تیمارها (تاریخ کاشت، رقم و آب اولیه خاک) و مناطق مختلف مورد بررسی در استان لرستان متفاوت بود. کشاورزان استان لرستان با استفاده از برهمکنش تاریخ کاشت زودهنگام (۹ بهمن) × رقم زودرس (کیمیا) × آب اولیه خاک بالاتر (۵۸ میلی‌متر) می‌توانند عملکرد دانه را افزایش دهند. باید ذکر شود که مطالعه حاضر تحت شرایط محدودیت آب انجام شده است و پیشنهاد می‌شود محققان در مطالعات آینده بر روی دیگر فاکتورهای محدودکننده و کاهنده متمرکز شوند.

کلیدواژه‌ها: شرایط دیم، طول دوره رشد، عملکرد دانه، مدل SSM-iCrop2.

مقدمه

تولید یک گیاه تحت تاثیر سه فاکتور مدیریت، ژنتیک و محیط می‌باشد و با بهینه‌سازی این عوامل می‌توان به تولید بیشتری دست پیدا کرد (Rahimi-Moghaddam et al., 2019). همچنین توجه به این عوامل باعث کاستن از اثرات شدید اقلیمی بر تولید محصول زراعی می‌شود (Rahimi-Moghaddam et al., 2021). استفاده از ارقام مناسب، تاریخ کاشت بهینه و همچنین مصرف بهینه آبیاری از مهمترین راه‌های افزایش تولید می‌باشد (Rahimi-Moghaddam et al., 2019; Rahimi-Moghaddam et al., 2021). تاریخ کاشت، یکی از عوامل مهم مدیریتی در تولید گیاهان زراعی است، زیرا تغییر در تاریخ کاشت، ویژگی‌های محیطی نظیر دما و نور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این طریق، بر رشد و نمو محصول زراعی تأثیر می‌گذارد. هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن زمان کاشت مطلوب یک گیاه است، به طوری‌که کلیه مراحل رشدی گیاه در شرایط مطلوب باشند و گیاه در طول رشد با شرایط نامساعد محیطی مواجه نشود (Khichar and Niwas, 2006). بررسی تاریخ کاشت در ارقام عدس نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت، با کاهش طول دوره رویشی و همچنین افزایش سریع درجه حرارت در انتهای فصل رشد، باعث کاهش طول دوره زایشی و در نتیجه، کاهش عملکرد دانه می‌شود (Chen et al., 2006; Bejiga, 1991). در زمینه نقش ژنوتیپ، گیاهان با طول دوره رشدی متفاوت دارای کارکرد مختلفی هستند. به عنوان مثال کاشت

حبوبات پس از غلات دومین منبع غذایی مهم در کشورهای در حال توسعه می‌باشند و تقریباً یک چهارم نیاز پروتئین در این کشورها توسط حبوبات تامین می‌گردد. در بین حبوبات، عدس (*Lens esculinaris*) به دلیل ویژگی‌های مطلوبی که دارد حائز اهمیت ویژه‌ای است. عدس گیاهی یک ساله، خودبارور، با بوته‌های ۲۰-۴۵ سانتی‌متری و از حبوبات خوراکی است که ارزش اولیه آن در قابلیت تولید حدود ۲۳ درصد پروتئین با کیفیت بالا و از لحاظ زراعی توانایی آن در تثبیت ازت خاک در تناوب زراعی در محیط‌های حاشیه‌ای خشک است (Erskine et al., 2009; Zeidan, 2007). بر اساس آمار اطلاعات سازمان خوار و بار و کشاورزی (FAO, 2020)، به طور متوسط سالانه سطح زیر کشت محصول عدس در جهان بیش از ۵ میلیون هکتار می‌باشد که سالانه به طور متوسط حدود ۶/۵ میلیون تن عدس در جهان تولید می‌گردد. در ایران به طور متوسط سالانه حدود ۱۳۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی به کشت عدس اختصاص می‌یابد که به طور متوسط منجر به تولید سالانه ۶۹ هزار تن محصول عدس تولید می‌شود. در این دوره متوسط عملکرد عدس در جهان و ایران به ترتیب ۱/۳ و ۰/۵ تن در هکتار بوده و نشان می‌دهد عملکرد عدس در کشور کمتر از نصف عملکرد جهانی می‌باشد (FAO, 2020).

استفاده از یک مدل شبیه‌سازی ارزیابی شده توأم با به کارگیری آمار هواشناسی دراز مدت هر منطقه می‌تواند ابزاری کارگشا در این خصوص باشد (Chenu *et al.*, 2017; Rahimi-Moghaddam and Eyni-Nargeseh, 2022). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در تجزیه و تحلیل نظام‌های زراعی در واکنش به عملیات مدیریتی و تحت شرایط متغیر محیطی با وجود دسترسی به طیفی از داده‌های اقلیمی اهمیت زیادی پیدا کرده است (Dehimfard *et al.*, 2022; Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021; Amiri *et al.*, 2021). این مدل‌ها قادر هستند که طیف زیادی از تیمارهای مدیریتی همچون تاریخ کاشت (Amiri *et al.*, 2021) و رقم (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021) را در مناطق در طول سال‌های مختلف بررسی کنند که نسبت به آزمایشات مزرعه دارای هزینه کمتر هستند و زمان‌بر نیستند. همچنین تغییرات بین سال‌های مختلف توسط این مدل‌ها شبیه‌سازی می‌شود به طوری که خروجی‌های این مدل‌ها می‌توانند نماینده واقعی اقلیم و تاثیرات اقلیمی آن منطقه بر محصول زراعی باشد (Chenu *et al.*, 2011). به عنوان مثال رحیمی مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021) با استفاده از داده‌های بلند مدت اقلیمی واکنش سه ژنوتیپ اصلی کلزا (Hyola308، Hyola401 و RGS003) نسبت به رژیم‌های مختلف آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری در زمان گلدهی و غلاف دهی) با استفاده از مدل APSIM-canola در مناطق مختلف ایران را بررسی کردند و نشان دادند که پتانسیل عملکرد برای تولید کلزا در غرب ایران با اقلیم معتدل (۲۸۵۲/۶ کیلوگرم در هکتار) نسبت به جنوب غربی با اقلیم گرم (۱۸۸۵/۱ کیلوگرم در هکتار) بالاتر است. آن‌ها همچنین گزارش کردند که در شرایط آبیاری کامل بهترین رقم Hyola401 می‌باشد و در شرایط قطع آبیاری در زمان گلدهی و غلاف دهی رقم RGS003 کارکرد بهتری از نظر تولد عملکرد دانه دارد. امیری و همکاران (Amiri *et al.*

گیاهان با فصل رشد طولانی باعث قرارگیری گیاه در تنش خشکی و گرمای آخر فصل می‌شود که باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Amiri, Eyni-Nargeseh *et al.*, 2021).

عامل مهم دیگر آب اولیه خاک (میزان رطوبت خاک قابل دسترس برای محصول زراعی در زمان کشت) است که می‌تواند بر جوانه‌زنی، استقرار گیاه و در نهایت رشد و نمو و عملکرد گیاه تاثیر گذار باشد (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021). کشت عدس در ایران به ویژه در استان لرستان از دیرباز به صورت بهاره و دیم مرسوم بوده است لیکن به دلیل بارندگی‌های زمستانه و رطوبت زیاد خاک جهت انجام عملیات خاک‌ورزی و تهیه بستر بذر، معمولاً کاشت عدس در بعضی مواقع تا اوایل اردیبهشت به تعویق می‌افتد به همین دلیل در فروردین ماه که معمولاً بیشتر بارش‌ها اتفاق می‌افتد یا کشت صورت نگرفته و یا هنوز در مرحله‌ی رشد اولیه قرار دارد و گیاه قادر به استفاده مطلوب از رطوبت نمی‌باشد. به علاوه، کاهش رطوبت به دلیل عدم بارندگی در خردادماه (زمان گلدهی گیاه) باعث تنش رطوبتی و خشکی شده و سبب کاهش شدید عملکرد گیاه می‌شود. در نتیجه برای استفاده کامل از بارش‌های آسمانی باید به تاریخ کاشت و همچنین آب‌های اولیه خاک توجه نمود تا محصول بیشتری به دست آید. برای داشتن مناسب‌ترین انتخاب و راهنمایی زارعین در اتخاذ بهترین تاریخ کشت و همچنین آب اولیه، توصل به آزمایشات مزرعه‌ای رایج است. با این حال تصمیم‌گیری صرفاً بر اساس نتایج این آزمایشات چندان رضایت بخش نیست. در واقع گزارشاتی وجود دارد مبنی بر اینکه ملاک قرار دادن نتایج حاصل از تعداد اندکی آزمایش مزرعه‌ای، حتی ممکن است با واقعیت همخوانی نداشته باشد (Simance *et al.*, 1994). این موضوع به این خاطر هست که آزمایشات مزرعه معمولاً بیانگر تغییرات اقلیمی در سال‌های مختلف نیستند.

تولیدکننده عدس شامل الیگودرز، نورآباد، خرم‌آباد و کوهدشت مورد بررسی قرار گرفتند. میانگین دما در طول سال از ۹/۵ درجه سانتی‌گراد در منطقه نورآباد تا ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد در منطقه خرم‌آباد متغیر می‌باشد. همچنین میزان بارش سالیانه از ۳۶۹ میلی‌متر در منطقه کوهدشت تا ۵۵۰ میلی‌متر در منطقه نورآباد تغییرات دارد. معیار انتخاب شهرستان‌های مختلف شامل پراکنش در سطح استان، سطح زیر کشت و تنوع آب و هوایی می‌باشد. ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ و شکل ۱ مشخص می‌باشند.

مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی

در تحقیق حاضر از مدل^۱ SSM-iCrop2 (Soltani and Sinclair, 2012; Soltani et al, 2018) برای شبیه‌سازی رشد عدس استفاده شد. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، تاثیر خشکی هوا بر تولید ماده خشک، توزیع ماده خشک، تاثیر دماهای حدی (دماهای بالا و پایین) بر سطح برگ، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. در مدل SSM-iCrop2، فنولوژی بر اساس مفهوم روز بیولوژیک که بر مبنای دما، طول روز، بهاره‌سازی و اثر تنش خشکی محاسبه و شبیه‌سازی می‌شود (Soltani and Sinclair, 2011, 2012). مدل، واکنش سرعت نمو نسبی در هر گیاه به میانگین دمای روزانه را با استفاده از یک تابع دندان مانند توصیف می‌کند. پارامترهای مورد نیاز در این تابع شامل یک دمای پایه، دمای مطلوب تختانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف می‌باشد. گیاهان برای رسیدن به هر یک از مراحل رشدی خود نیاز به مقادیر مشخصی از واحد دمایی تجمعی دارند که این مقادیر به عنوان پارامترهای ورودی مدل SSM-iCrop2 جهت مدل‌سازی مراحل فنولوژیک گیاهان محسوب می‌شوند (Soltani and Sinclair 2012, 2011). در تحقیق حاضر از مدل ارزیابی شده استفاده شد. این مدل

(al., 2021) برهمکنش ژنوتیپ، محیط و مدیریت را به منظور افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد بوم‌نظام-های زراعی نخود در غرب و شمال غرب ایران با استفاده از مدل SSM در شرایط حاضر و تغییر اقلیم بررسی نمودند. آن‌ها سه ژنوتیپ، هشت منطقه و سه رژیم آبیاری را به ترتیب به عنوان فاکتورهای ژنتیکی، محیطی و مدیریتی در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها مشخص کرد که بیشترین عملکرد (۱۸۰۸/۴ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۶/۹۸ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) در برهمکنش ژنوتیپ میان رس، منطقه سرد شمال غرب و آبیاری تکمیلی ۶۰ میلی‌متر در دوره غلاف دهی در دوره آینده به دست می‌آید. با توجه به اهمیت حبوبات در سبد غذایی کشور و همچنین عملکرد پایین گیاه عدس به عنوان یکی از حبوبات مهم و لزوم توجه به رهیافت‌های جدید جهت بررسی بهبود عملکرد گیاهان زراعی و کاهش شکاف عملکرد، تحقیق حاضر با بهره‌گیری از رهیافت مدل‌سازی گیاهان زراعی در راستای تعیین بهترین تاریخ کاشت، ژنوتیپ و آب اولیه خاک برای بهبود عملکرد عدس در استان لرستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

استان و شهرستان‌های مورد مطالعه

در این تحقیق در استان لرستان انجام شد که با مساحتی حدود ۲۸۱۵۷ کیلومتر مربع (۱/۷ درصد مساحت کشور) در ناحیه جنوب غربی ایران بین ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. اقلیم استان متأثر از توده‌های هوایی مدیترانه‌ای بوده و بر این اساس سه ناحیه آب و هوایی (۱) آب و هوای گرم و خشک جنوب (۲) آب و هوای معتدل مرکزی (۳) آب و هوای سرد شمالی در استان لرستان وجود دارد. این استان به دلیل وجود رودخانه‌ها و کوه‌های زیاد، دارای آب و هوای معتدل و فصول منظم می‌باشد. برای تحقیق حاضر چهار شهرستان

شامل آن بوده است (Amiri and Deihimfard, 2018). برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد مدل زراعی و نحوه ارزیابی مدل به مطالعه امیری و دیهیم فرد (Amiri and Deihimfard, 2018) رجوع شود. ضرایب ژنتیکی ارقام مورد مطالعه (کیما و بیله سوار) که قبلا از واسنجی و ارزیابی مدل بدست آمدند در جدول ۲ مشخص می-باشند.

برای دو رقم کیما و بیله سوار توسط نویسندگان مقاله حاضر ارزیابی شده است (Amiri and Deihimfard, 2018). در ارزیابی مذکور مدل برای طیف وسیعی از مناطق، سالها و تیمارها واسنجی و اعتبارسنجی شده است. به عنوان مثال مدل برای شهرستانهای خرم آباد، کرمانشاه، همدان، اردبیل و زنجان تحت سالها و تیمارهای مختلف (از جمله ارقام و تاریخ های کاشت) مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است که استان لرستان نیز

Table 1. Elevation and climatic properties of study locations in Lorestan province.

Locations	Elevation (m)	Annual mean temperature (°C)	Annual cumulative rainfall (mm)
KhorramAbad	1147	16.5	486.2
Nurabad	2180	9.5	550
Aligudarz	2022	12.4	402.1
Kuhdasht	1195	16.0	369.8

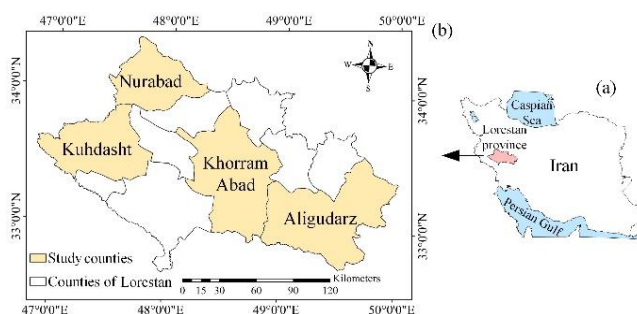


Figure 1. Geographical position of four study counties in Lorestan province (b) and Iran (a).

Table 2. Genetic coefficients of study cultivar in the present research (Amiri and Deihimfard, 2018).

Coefficients	Cultivar	
	Late-Maturity	Early-Maturity
Critical photoperiod (h)	11	11
Photoperiod sensitivity	0.28	0.28
Biological days from sowing to emergence	11	7.8
Biological days from emergence to flowering	43	30
Biological days from flowering to beginning of pod formation	5.7	5.7
Biological days from beginning of pod formation to beginning of seed fill	13	13
Biological days from beginning of seed fill to end of seed fill	16	16
Biological days from end of seed fill to maturity	14	14

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل

داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی روزانه مدل شامل داده‌های اقلیمی (آب و هوایی)، خاکی، مدیریتی و گیاهی می‌باشند. داده‌های اقلیمی بلندمدت به صورت روزانه شامل دمای کمینه و بیشینه دما (درجه سانتی‌گراد)، بارندگی (میلی‌متر) و تعداد ساعات آفتابی هستند که این داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شدند. این داده‌ها به‌عنوان ورودی مدل SSM-iCrop2 مورد استفاده قرار گرفتند. در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی از ماه‌های سال داده‌ی هواشناسی ثبت نشده و در برخی موارد داده‌های پرت وجود داشتند، داده‌های پرت و گم شده در ایستگاه‌های مذکور با استفاده از برنامه WeatherMan¹ (Hoogenboom *et al.*, 2003) اصلاح و بازسازی شدند. با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تابش روزانه به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود، با استفاده از تعداد ساعات آفتابی، تابش روزانه از طریق رابطه آنگستروم (Prescott, 1940) به‌صورت زیر تابش تخمین زده شد:

$$R_s = \left(a + b \frac{n}{N}\right) R_a \quad (1) \text{ معادله}$$

در این معادله، R_s نشان‌دهنده‌ی تابش روزانه (مگاژول در مترمربع)، n تعداد ساعات آفتابی، N بیشینه تعداد ساعات آفتابی ممکن و R_a تابش فرازمینی^۲ می‌باشد. پارامترهای a و b ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند. در این تحقیق مقدار پارامترهای a و b برای مناطق مختلف به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته شد.

داده‌های خاکی مورد نیاز شامل عمق خاک (cm)، وزن مخصوص ظاهری خاک (g cm^{-3})، نقطه پژمردگی ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)، ظرفیت زراعی ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) و ظرفیت نقطه اشباع ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) بود. داده‌های خاکی از طریق مکاتبه با

سازمان جهاد کشاورزی، مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، آزمایشگاه‌های خاک، گزارشات سازمان خوار و بار جهانی و همچنین سایت اطلس خلاء عملکرد جهانی در سطح هر شهرستان جمع‌آوری شد. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده عمق خاک‌های مناطق مورد مطالعه از ۱۰۰ سانتی‌متر بیشتر نمی‌باشد بنابراین عمق خاک برای همه‌ی مناطق مورد مطالعه ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اطلاعات خاکی مناطق مورد در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

اطلاعات مدیریتی شامل تراکم (۱۰۰ بوته در متر مربع)، خاکورزی (مرسوم)، فاصله بین ردیف (۲۵ سانتی‌متر)، و عمق کاشت (۵ سانتی‌متر) بودند که از طریق مکاتبه با کارشناسان جهاد کشاورزی و همچنین مراکز تحقیقات شهرستان‌های مربوطه به دست آمدند. در زمینه میزان کوددهی باید ذکر شود که تحقیق حاضر فقط تحت شرایط محدودیت آبی بود و تنش نیتروژن به واسطه فراهمی نیتروژن کافی در طول فصل کنترل شد. برای اینکار گزینه عدم تنش نیتروژن فعال شد و مدل به صورت خودکار استرس نیتروژن را بر روی رشد گیاه در نظر نمی‌گیرد. به عبارت دیگر زیر مدل نیتروژن و تاثیر بیلان نیتروژن خاک غیرفعال می‌شود. همچنین تنش‌های زنده شامل اثر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در این تحقیق در نظر نگرفته شد و شبیه‌سازی‌ها تحت عدم وجود این عوامل کاهنده انجام شدند. در پایان داده‌های گیاهی شامل ضرایب ژنتیکی ویژه ارقام مورد استفاده در این تحقیق برای گیاه عدس بودند که از تحقیق‌های امیری و دیهیم فرد (Amiri and Deihimfard, 2018) به دست آمدند (جدول ۲).

Table 3. Soil properties of study locations in Lorestan province.

Location	Bulk density (g cm ⁻³)	Soil water content at wilting point (cm ³ cm ⁻³)	Soil water content at field capacity (cm ³ cm ⁻³)	Saturation water content (cm ³ cm ⁻³)
KhorramAbad	1.28	0.231	0.392	0.518
Nurabad	1.35	0.222	0.370	0.490
Aligudarz	1.31	0.237	0.388	0.507
Kuhdasht	1.34	0.259	0.396	0.500

۳۰ فرودین)، ۴ مقدار متفاوت آب اولیه خاک (۳۲، ۳۶، ۴۲ و ۵۸ میلی‌متر)، ۲ رقم (زودرس و دیررس)، ۴ منطقه (الیکودرز، نورآباد، خرم‌آباد و کوه‌دشت) و ۴۱ سال (از ۱۳۵۸ تا ۱۳۹۹) در مجموع حدود ۵۲۴۸ آزمایش شبیه‌سازی (به علاوه ۱۶۴ آزمایش شبیه‌سازی اولیه) انجام شد.

صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، روز تا گلدهی، میانگین دما و بارندگی تجمعی در طول دوره رشد محصول عدس بودند. آنالیز داده‌ها و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم افزار OriginPro (Seifert, 2014) انجام شد.

نتایج و بحث

به طور میانگین برای همه‌ی مناطق، تاریخ کاشت‌ها، ارقام و آب‌های اولیه خاک، میانگین عملکرد دانه عدس در استان لرستان برابر با ۲۳۴ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲، ۳، ۴ و ۵). با این وجود میزان عملکرد دانه در مناطق، تاریخ کاشت‌ها، ارقام و آب‌های اولیه خاک بسیار متغیر بود. به طور میانگین در همه‌ی تیمارهای مورد بررسی، عملکرد دانه از ۱۱۳ کیلوگرم در هکتار در منطقه نورآباد (شکل ۳) تا ۳۸۸ کیلوگرم در هکتار در منطقه خرم‌آباد (شکل ۴) متغیر بود. همچنین اختلاف ایجاد شده توسط تیمارهای تاریخ کاشت از ۱۲۴ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین (19 April) تا ۳۶۴ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۹ بهمن (29 January) بود. به طور میانگین در همه‌ی مناطق، تاریخ کاشت‌ها و ارقام مورد بررسی کمترین عملکرد دانه (۱۹۷ کیلوگرم در هکتار) در آب اولیه خاک ۳۲ میلی‌متر و بیشترین مقدار آن (۲۶۳ کیلوگرم در هکتار) در آب اولیه خاک ۵۸

آزمایشات شبیه‌سازی و صفات مورد بررسی

آزمایش شبیه‌سازی به صورت فاکتوریل بود و تیمارهای شبیه‌سازی شامل ۴ تاریخ کاشت، ۴ مقدار آب اولیه خاک و ۲ رقم (کیما و بیله سوار به ترتیب ارقام زودرس و دیررس) بودند. برای تعیین تاریخ کاشت‌ها و آب‌های اولیه خاک ابتدا یک آزمایش شبیه‌سازی اولیه انجام شد (Chenu *et al*, 2013; Rahimi-Moghaddam *et al*, 2021). به این صورت که مدل ابتدا با توجه به اطلاعات مدیریتی کشاورزان برای بازه کاشت عدس دیم برای مناطق مورد بررسی در طول ۴۱ سال (۱۳۹۹-۱۳۵۸) اجرا و جوانه زنی عدس دیم شبیه‌سازی شد. برای این منظور چندین فرض در مدل برای جوانه‌زنی برقرار شد به این صورت که جوانه‌زنی زمانی رخ می‌دهد که در ۵ روز متوالی حداقل ۵ میلی‌متر بارندگی صورت گیرد و میزان آب خاک برابر با ۳۰ میلی‌متر باشد. این فرض‌ها بر اساس توصیه مراکز تحقیقاتی برای کشت دیم بودند. با احتساب ۴۱ سال و ۴ منطقه، در مجموع ۱۶۴ زمان جوانه‌زنی و همچنین ۱۶۴ مقدار آب خاک متفاوت در زمان این جوانه‌زنی‌ها به صورت خروجی شبیه‌سازی وجود داشت. ۲۰امین صدک، ۴۰امین صدک، ۶۰امین صدک و ۸۰امین صدک زمان‌های جوانه‌زنی به عنوان تاریخ کاشت اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب در نظر گرفته شد. همچنین، ۲۰امین صدک، ۴۰امین صدک، ۶۰امین صدک و ۸۰امین صدک مقادیرهای متفاوت آب خاک در زمان‌های جوانه‌زنی به عنوان آب خاک اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب در نظر گرفته شد. تیمارهای رقم شامل دو رقم زودرس و دیررس بودند. در نهایت، با داشتن ۴ تاریخ کاشت (۹ بهمن، ۲۳ بهمن، ۱۳ اسفند و

کوهر و همکاران: شبیه‌سازی پاسخ ارقام عدس به...

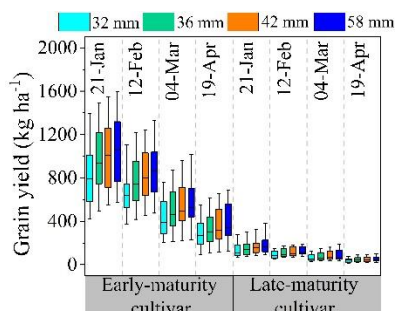


Figure 4. Lentil grain yield under different treatments of cultivar, sowing date, and initial soil moisture in KhorramAbad.

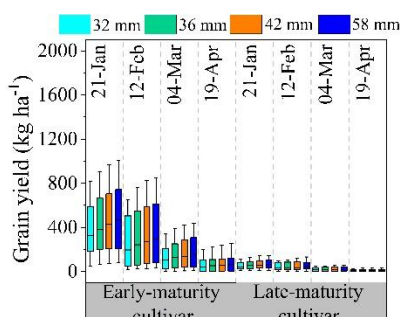


Figure 5. Lentil grain yield under different treatments of cultivar, sowing date, and initial soil moisture in Kuhdasht.

عملکرد دانه در شهرستان خرم‌آباد را می‌توان به را می‌توان به بارندگی تجمعی در طول فصل بیشتر این منطقه نسبت به مناطق دیگر نسبت داد به طوری که در میانگین تمامی تیمارهای مورد بررسی میانگین بارندگی تجمعی در طول فصل رشد عدس در شهرستان خرم‌آباد برابر با ۱۶۲ میلی‌متر بود در حالی که مناطق مورد بررسی دیگر به طور میانگین ۹۵ میلی‌متر دریافت می‌کردند (جدول ۴). رگرسیون خطی بین میزان بارندگی تجمعی و عملکرد دانه نیز این موضوع را نشان می‌دهد به طوری که این دو صفت به طور معنی‌داری با ضریب ۲/۲ با یکدیگر ارتباط داشتند (شکل ۶a). تحقیقات مختلف نشان‌دهنده ارتباط مثبت و معنی‌دار بین کشت دیم میزان بارندگی تجمعی در طول فصل رشد محصولات زراعی مختلف هستند (Amiri *et al*, 2021; Rahimi-Moghaddam *et al*, 2021; Chenu *et al*, 2013). به عنوان مثال در تحقیقی گزارش شده است تحت شرایط دیم عملکرد دانه گندم با بارندگی تجمعی رابطه مثبت و معنی‌داری دارد و به طور متوسط به ازای

میلی‌متر شبیه‌سازی شد. در بین تیمارهای مختلف مورد بررسی بیشترین اختلاف در بین دو رقم مورد بررسی مشاهده شد بطوری که میزان عملکرد دانه رقم زودرس (۴۰۵ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از رقم دیررس (۶۳ کیلوگرم در هکتار) بود. با در نظر گرفتن برهمکنش‌های مختلف به طور میانگین در تمامی مناطق، بیشترین عملکرد دانه با ۷۰۴ کیلوگرم در هکتار در برهمکنش رقم زودرس، تاریخ کاشت ۹ بهمن (29 January) و آب اولیه خاک ۵۸ میلی‌متر و کمترین مقدار آن با ۲۵ کیلوگرم در هکتار در برهمکنش رقم دیررس، تاریخ کاشت ۳۰ فروردین (19 April) و آب اولیه خاک ۳۲ میلی‌متر بدست آمد (شکل ۲، ۳، ۴ و ۵).

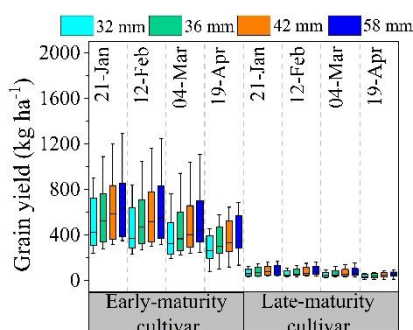


Figure 2. Lentil grain yield under different treatments of cultivar, sowing date, and initial soil moisture in Aligudarz.

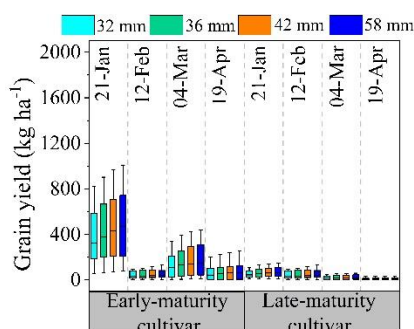


Figure 3. Lentil grain yield under different treatments of cultivar, sowing date, and initial soil moisture in Nurabad.

محصول از خشکی آخر فصل به افزایش عملکرد دانه کمک می‌کنند (Farooq *et al.*, 2017; Bejiga, 1991). در تحقیقی در سوریه نشان داده شد که تاریخ کاشت دیر هنگام در مقایسه با تاریخ کاشت زود هنگام عملکرد عدس را ۲۰ درصد کاهش داد (Saxena *et al.*, 1983). همچنین، در جنوب غربی استرالیا، کاشت زود هنگام عدس منجر به رشد افزایش طول دوره رشد رویشی و زایشی، توسعه سریع تاج پوشش، جذب بیشتر تشعشعات فعال فتوسنتزی و استفاده کارآمدتر از آب شد که در نهایت منجر به تجمع زیست توده و عملکرد دانه بیشتر شد (Siddique *et al.*, 1998).

در زمینه تاثیر تاریخ کاشت زود هنگام بر اجتناب از خشکی، این موضوع می‌تواند در کنار به رقم زراعی زودرس بسیار موثر باشد. همانطور که در نتایج بالا نشان داده شد رقم زودرس در مقایسه با رقم دیررس عملکرد بیشتری تولید کرد. در واقع رقم زودرس با تکمیل دوره رشد خود قبل از شروع خشکی‌های آخر فصل می‌تواند نسبت به رقم دیررس کارکرد بهتری از نظر تولید محصول تحت شرایط دیم داشته باشد. فرار از خشکی به ویژه در مراحل حساس به این استرس در محصول عدس می‌تواند از کاهش زیاد تولید جلوگیری کند (Gorim and Vandenberg, 2017; Kumar *et al.*, 2012; Silim *et al.*, 1993). همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است به طور میانگین رقم زودرس گلدهی خود را (۶۰/۴ روز پس از کاشت) نسبت به رقم دیررس (۷۴/۲ روز پس از کاشت) زودتر تشکیل می‌دهد و این موضوع باعث می‌شود که این مرحله و نشستن دانه با مشکل مواجه نشود.

در زمینه میزان آب اولیه خاک تاثیر آن بر عملکرد دانه همانطور که در شکل‌های ۲ تا ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش میزان آب اولیه خاک عملکرد دانه افزایش پیدا می‌کند. در واقع قرارگیری بیشتر میزان آب در اوایل دوره رشد می‌تواند باعث افزایش میزان جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاه در مراحل اولیه رشد شود. ارتباط مثبت و معنی‌دار بین میزان آب اولیه خاک و عملکرد دانه با ضریب ۲/۲۵ این موضوع را تایید می‌کند (شکل ۷).

افزایش یک میلی‌متر بارندگی جمعی عملکرد دانه گندم دیم یک کیلوگرم افزایش پیدا می‌کند (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2021).

در زمینه تاثیر تاریخ کاشت‌های مختلف و عملکرد دانه تاریخ کاشت زود هنگام ۹ بهمن (29 January) کارکرد بهتری نسبت به تاریخ کاشت‌های دیگر داشت این موضوع را می‌توان به میانگین دما و بارندگی جمعی در طول فصل رشد نسبت داد به طوری که در تاریخ کاشت ۹ بهمن (29 January) میانگین دما (۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد) نسبت به تاریخ کاشت‌های دیگر (۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد) به طور میانگین پایین‌تر بود. همچنین از نظر بارندگی جمعی در طول فصل رشد، محصول عدس به طور میانگین بارندگی بیشتری در تاریخ کاشت ۹ بهمن (29 January) (۱۴۹/۳ میلی‌متر) نسبت به تاریخ کاشت‌های دیگر (۹۹/۲ میلی‌متر) دریافت کرد (جدول ۴). کاهش دما در طول فصل رشد باعث می‌شود که محصول زراعی طول دوره رشد خود را افزایش دهد که در نتیجه محصول زراعی فرصت بیشتری برای انجام فرآیند فتوسنتز و تولید موارد پروده داشته باشد و از این طریق عملکرد افزایش پیدا می‌کند. ارتباط معنی‌دار و منفی بین میانگین دما در طول فصل رشد و عملکرد دانه عدس این موضوع را تایید می‌کند به طوری ضریب رگرسیون خطی این دو صفت برابر با $-۸۹/۸$ بود (شکل ۶b). مطالعات مختلف نیز این موضوع را تایید می‌کنند (Asseng *et al.*, 2011; Sehgal *et al.*, 2017). به عنوان مثال گزارش شده است که افزایش تغییرات ۲ درجه سانتی-گراد دمای فصلی می‌تواند عملکرد گندم دیم را در ۵۰ درصد در استرالیا کاهش دهد (Asseng *et al.*, 2011). در تحقیقی دیگر نشان داده شد که تحت شرایط تنش خشکی، افزایش دما عملکرد عدس را از طریق تاثیر بر تعداد دانه و طول پرشدن دانه کاهش خواهد داد (Sehgal *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شده است که تنش آب دوره گلدهی و آخر فصل رشد باعث کاهش وزن و تعداد دانه در گندم می‌شود (Naderi and Eslahi, 2019). تاریخ کاشت‌های زود هنگام در کشت دیم از طریق اجتناب

در سال‌های خشک نسبت به سال‌های مرطوب افزایش پیدا می‌کند. همچنین در مطالعه مذکور گزارش شد که افزایش رطوبت اولیه خاک از بسیار خشک به شرایط بسیار مرطوب منجر به افزایش تولید به میزان ۰/۲۳، ۰/۷۷، ۰/۴۵ و ۰/۲۷ میلیون تن عملکرد جو، ذرت، سورگوم و گندم در حوضه آبی بالای رودخانه نیل در ایتوپی شد (Yang et al., 2021).

بسیاری از مطالعات هم موید این موضوع هستند (Yang et al., 2021; Rahimi-Moghaddam et al., 2021; Chenu et al., 2013). به عنوان مثال در تحقیقی گزارش شده است که بین عملکرد دانه و آب قابل دسترس رابطه معنی‌داری وجود دارد به طوری با افزایش یک میلی‌متر آب قابل دسترس عملکرد گندم دیم به میزان ۱۶ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد (Rahimi-Moghaddam et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر اثر آب اولیه خاک بر روی غلات کمی-سازی شد و نشان داده شد که با افزایش محتوای رطوبت اولیه خاک عملکرد غلات بویژه در مناطق غربی ایتوپی و

Table 4. Mean temperature and cumulative during the growing season of lentil and days from sowing flowering in different locations and treatments.

Location	Cultivar	Sowing date	Mean temperature during the growing season (°C)	Cumulative rainfall during the growing season (mm)	Days from sowing to flowering
Aligudarz	Early- maturity	21- Jan	21.8 ± 0.40	193.2 ± 12.2	98.4 ± 1.25
		12- Feb	22.0 ± 0.33	169.5 ± 11.6	86.1 ± 1.18
		04- Mar	22.3 ± 0.40	141.1 ± 10.8	70.3 ± 1.13
		30- Apr	22.4 ± 0.32	110.1 ± 10.6	59.9 ± 0.91
	Latte- maturity	21- Jan	21.8 ± 0.41	199.2 ± 11.8	114.2 ± 1.12
		12- Feb	22.3 ± 0.31	174.5 ± 12.0	101.6 ± 1.08
		04- Mar	22.4 ± 0.37	148.1 ± 11.3	85.6 ± 0.99
		30- Apr	22.4 ± 0.33	115.2 ± 10.2	74.4 ± 0.86
Nurabad	Early- maturity	21- Jan	23.8 ± 0.41	88.1 ± 9.1	59.5 ± 0.59
		12- Feb	24.3 ± 0.35	71.6 ± 8.0	67.0 ± 0.65
		04- Mar	24.8 ± 0.38	49.1 ± 6.9	44.6 ± 0.60
		30- Apr	25.5 ± 0.42	33.8 ± 4.7	39.7 ± 0.48
	Latte- maturity	21- Jan	23.9 ± 0.45	95.2 ± 9.4	74.7 ± 0.57
		12- Feb	24.3 ± 0.35	82.6 ± 8.2	67.0 ± 0.65
		04- Mar	24.9 ± 0.37	54.1 ± 7.1	58.0 ± 0.63
		30- Apr	25.6 ± 0.39	43.8 ± 5.1	52.0 ± 0.51
KhorramAbad	Early- maturity	21- Jan	22.3 ± 0.33	210.7 ± 14.1	74.9 ± 1.26
		12- Feb	22.3 ± 0.38	177.5 ± 12.3	66.2 ± 1.05
		04- Mar	23.4 ± 0.34	139.8 ± 10.2	55.6 ± 0.85
		30- Apr	25.4 ± 0.33	103.3 ± 9.0	48.5 ± 0.74
	Latte- maturity	21- Jan	22.3 ± 0.37	220.7 ± 14.2	92.1 ± 1.21
		12- Feb	22.2 ± 0.37	185.5 ± 12.7	82.5 ± 1.08
		04- Mar	23.5 ± 0.36	145.8 ± 10.0	70.5 ± 0.92
		30- Apr	25.2 ± 0.34	112.3 ± 9.2	62.0 ± 0.76
Kuhdasht	Early- maturity	21- Jan	23.8 ± 0.41	88.1 ± 9.1	59.5 ± 0.59
		12- Feb	24.3 ± 0.30	71.6 ± 8.0	52.6 ± 0.56
		04- Mar	24.8 ± 0.38	49.1 ± 6.9	44.6 ± 0.60
		30- Apr	25.5 ± 0.42	33.8 ± 4.7	39.7 ± 0.48
	Latte- maturity	21- Jan	23.9 ± 0.45	99.2 ± 9.6	74.7 ± 0.57
		12- Feb	24.3 ± 0.35	77.6 ± 8.7	67.0 ± 0.65
		04- Mar	24.9 ± 0.37	52.1 ± 7.3	58.0 ± 0.63
		30- Apr	25.6 ± 0.39	38.8 ± 4.9	52.0 ± 0.51

شهرستان خرم آباد با توجه به بارندگی بیشتر دارای پتانسیل تولید عدس دیم بیشتری نسبت به سایر مناطق بود. همچنین استفاده از یک رقم زودرس و تاریخ کاشت زود هنگام تولید عدس در سطح استان لرستان را افزایش می دهد. این در حالی بود که با در نظر گرفتن میزان رطوبت بالای خاک در هنگام کاشت می توان عملکرد عدس را بیشتر افزایش داد. به طور کلی کشاورزان استان لرستان با استفاده از برهمکنش تاریخ کاشت زود هنگام (۹ بهمن) × رقم زودرس (کیمیا) × آب اولیه خاک بالاتر (۵۸ میلی متر) می توانند میزان تولید عدس را در سطح استان لرستان و مناطق مورد بررسی (الیگودرز، نورآباد، خرم آباد و کوهدشت) تا ۷۰۴ کیلوگرم در هکتار افزایش دهند. شایان ذکر است که مطالعه حاضر تحت شرایط محدودیت آب انجام شده است و پیشنهاد می گردد در مطالعات آینده محققان بر روی سایر عوامل محدود کننده و کاهنده تولید متمرکز شوند.

سپاس گذاری

این مقاله بر اساس نتایج یک پایان نامه کارشناسی ارشد تحت حمایت دانشگاه لرستان می باشد.

References

- Amiri, S., Eyni-Nargeseh, H., Rahimi-Moghaddam, S., & Azizi, K. (2021). Water use efficiency of chickpea agro-ecosystems will be boosted by positive effects of CO₂ and using suitable genotype × environment × management under climate change conditions. *Agricultural Water Management*, 252, 106928.
- Amiri, S.R., & Deihimfard, R. (2018). Can the dormant seeding of rainfed lentil improve productivity and water use efficiency in arid and semi-arid conditions?. *Field Crops Research*, 227, 67-78.
- Asseng, S., Foster, I., & Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2), 997-1012.
- Bejiga, G. (1991). Effect of sowing dates on the yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 167, 135-140.
- Chen, C., Miller, P., Muehlbauer, F., Neill, K., Wichman, D. & McPhee, K. (2006). Winter pea and lentil response to seeding date and micro and macro-environments. *Agronomy Journal*, 98, 1655-1663.
- Chenu K., Deihimfard, R., & Chapman, S.C. (2013). Large-scale characterization of drought pattern: a continent-wide modelling approach applied to the Australian wheatbelt—spatial and temporal trends. *New Phytologist*, 198(3), 801-820.
- Chenu, K., Cooper, M., Hammer, G.L., Mathews, K.L., Dreccer, M.F. & Chapman, S.C. (2011). Environment characterization as an aid to wheat improvement: interpreting genotype-environment

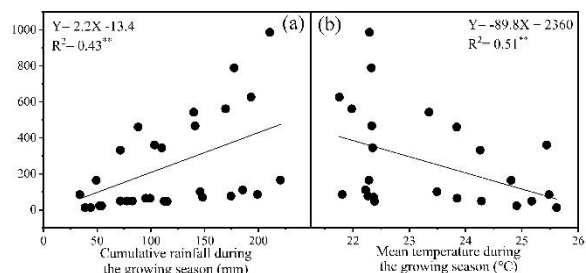


Figure 6. Regression between grain yield and cumulative rainfall (a) and (b) mean temperature during the growing season of lentil.

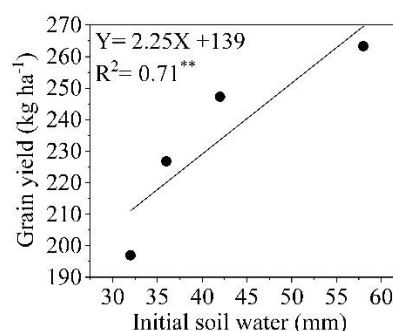


Figure 7. Regression between lentil grain yield and initial soil water.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج مشخص کرد که عملکرد دانه عدس در بین تیمارها (تاریخ کاشت، رقم و آب اولیه خاک) و مناطق مختلف مورد بررسی در استان لرستان متفاوت بود. از نظر تولید عدس در بین مناطق مورد بررسی

- interactions by modelling water-deficit patterns in NorthEastern Australia. *Journal of Experimental Botany*, 62 (6), 1743–1755.
- Chenu, K., Porter, J.R., Martre, P., Basso, B., Chapman, S.C., Ewert, F., Bindi, M., & Asseng, S. (2017). Contribution of crop models to adaptation in wheat. *Trends in Plant Science*, 22(6), 472-490.
- Deihimfard, R., Rahimi-Moghaddam, S., Collins, B., & Azizi, K. (2022). Future climate change could reduce irrigated and rainfed wheat water footprint in arid environments. *Science of The Total Environment*, 807, 150991.
- Erskine, W., Muehlbauer, F.J., Sarker, A., & Sharma, B. (Editors). (2009). The lentil: botany, production and uses. CABI.
- FAO. (2020). Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S., & Siddique, K.H. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203, 81–102.
- Gorim, L.Y. (2017). Vandenberg, A. Evaluation of wild lentil species as genetic resources to improve drought tolerance in cultivated lentil. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1129.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., & Tsuji, G.Y. (Editors). (2003). Decision support system for agrotechnology transfer version 4.0. Vol. 1: Overview. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Khichar, M.L., & Niwas, R. (2006). Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *Journal of Agrometeorology*, 8, 201-209.
- Kumar, J., Basu, P.S. Srivastava, E. Chaturvedi, S.K., Nadarajan, N., & Kumar, S. (2012). Phenotyping of traits imparting drought tolerance in lentil. *Crop & Pasture Science*, 63, 547.
- Naderi, A., & Eslahi, M.R. (2019). Evaluation of susceptibility of some phenological stages of wheat genotypes in response to drought stress. *Plant Productions*, 42(1), 133-148. [In Persian]
- Prescott, J.A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-118.
- Rahimi-Moghaddam, S., & Eyni-Nargeseh, H. (2022). Identification of different drought patterns of dryland wheat in the northwest of Iran by APSIM model. *Plant Productions*, 45(3), 435-446. [In Persian]
- Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Azizi, K., & Roostaei, M. (2021). Characterizing spatial and temporal trends in drought patterns of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) across various climatic conditions: a modelling approach. *European Journal of Agronomy*, 129, 126333.
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2019). Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicators*, 107, 105570.
- Saxena, M.C., Murinda, M.V., Turk, M., & Trabulsi, N. (1983). Productivity and water-use of lentil as affected by date of sowing. lentil *Experimental News Service*, 10, 28–29.
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K.H.M., & Nayyar, H. (2017). Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity. *Frontiers in Plant Science*, 8, (1776).
- Seifert, E. (2014). OriginPro 9.1: Scientific data analysis and graphing software- software review. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 54, 1552–1552.
- Siddique, K.H.M., Loss, S.P., Pritchard, D.L., Regan, K.L., Tennant, D., Jettner, R.L., & Wilkinson, D. (1998). Adaptation of lentil (*Lens culinaris* Medik.) to Mediterranean-type environments: Effect of time of sowing on growth, yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 613–626.
- Silim, S.N., Saxena, M.C., & Erskine, W. (1993). Adaptation of lentil to the Mediterranean environment. I. factors affecting yield under drought conditions. *Experimental Agriculture*, 29, 9–19.

- Simance, B., Vankeulen., H., Stol, H., & Struik, P.C. (1994). Application of a crop growth model (SUCROS-87) to assess the effect of moisture stress on yield potential of durum wheat in Ethiopia. *Agricultural Systems*, 44, 337-353.
- Soltani, A., Nehbandani, A., Zeinali, A., Torabi, B., Zand, A., Ghasemi, S., Alasti, A., Dadrasi, A., Hoseani, R., Alimaghm, S.M., Zahed, M., Mohamad Zadeh, Z., Kamari, H., Arabameri, R., Fayazi, H., Rahban, S., Mohamadi, S., & Keramat, S. (2018). Providing a gap Atlas for the performance and potential of important crops In the country in present and future climates. Gorgan. Sirang Press. [In Persian]
- Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2011). A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research*, 124, 252-260.
- Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Publisher. 312 p.
- Yang, M., Wang, G., Lazin, R., Shen, X., & Anagnostou, E. (2021). Impact of planting time soil moisture on cereal crop yield in the Upper Blue Nile Basin: A novel insight towards agricultural water management. *Agricultural Water Management*, 243, 106430.
- Zeidan, M.S. (2007). Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6), 748-752.

کوهر و همکاران: شبیه‌سازی پاسخ ارقام عدس به...