

Original article

Effects of irrigation regimes on morphological traits and forage quality of different ecotypes of crownvetch (*Coronilla varia* L.) under greenhouse conditions

Rahimeh saberfar¹, Gholamreza Heidari^{2*}, Farzad Nazari³, Sirwan Babaei⁴, Ayoub Molaahmad Nalousi⁵

1. PhD student in Agro-Technology (Crop Ecology), Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3. Associate Professor, Department of Horticultural Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

5. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received 22 November 2025; Revised 1 February 2024; Accepted 7 February 2024

Extended abstract

Introduction

Global climate change, water scarcity, and environmental stresses threaten the sustainability of forage production, particularly in arid and semi-arid regions. *Coronilla varia* L. (syn. *Securigera varia* L.), commonly known as crownvetch, is a perennial legume valued for soil conservation, nitrogen fixation, and erosion control. Native to Europe, crownvetch has spread to the Mediterranean region, Russia, the Middle East, and the United States, with growing interest in Iran for forage production, particularly in pastures and field margins. Despite these benefits, crownvetch remains outside commercial crop rotations. With increasing drought frequency, understanding the effects of water deficit on crownvetch growth and nutritional quality is essential. Drought stress can impair germination, plant growth, photosynthesis, nutrient uptake, and biomass production. Utilizing drought-tolerant species such as crownvetch may provide a sustainable approach to forage production under water-limited conditions. Previous research has shown that the effects of drought on forage quality traits, including crude protein, fiber content, digestibility, and mineral content, vary depending on plant genotype, developmental stage, and environmental conditions.

Materials and methods

This study evaluated the morphological and nutritional responses of different crownvetch ecotypes to varying levels of water deficit. The experiment was conducted in the greenhouse of the University of Kurdistan in 2024 using a factorial completely randomized design with three replications. Ten ecotypes collected from different regions of Iran, including Hamadan, Nahavand, and Kermanshah, were subjected to five irrigation intervals (2, 4, 6, 8, and 12 days) to impose different levels of water deficit. The seeds were sterilized, germinated, and grown in pots containing a soil–sand–manure mixture. After transplanting, plants were maintained at field capacity until reaching the four-leaf stage and were then subjected to the respective irrigation treatments for two months. Morphological traits, including plant height and root length, along with biomass, were measured after harvest. Laboratory analyses were conducted to determine crude protein, fiber fractions, including neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), digestible dry matter (DDM), and ash content according to AOAC methods. Analysis of variance (ANOVA) revealed significant effects of ecotype, irrigation interval, and their interaction on plant traits and forage quality. The results were visualized using graphs and interaction plots.

* Corresponding author: Gholamreza Heidari; E-Mail: g.heidari@uok.ac.ir

Results and discussion

The analysis demonstrated that ecotype, irrigation interval, and their interaction significantly affected plant growth and forage quality traits ($p < 0.01$). Under a 6-day irrigation interval, the Nahavand, Hamadan, and Saghez ecotypes exhibited superior performance, with higher biomass and plant height than the other ecotypes. The Nahavand ecotype produced the highest biomass ($\sim 33.5 \text{ g.plant}^{-1}$), whereas the Paveh ecotype subjected to the longest irrigation interval (12 days) produced the lowest biomass ($\sim 12.5 \text{ g.plant}^{-1}$), highlighting the potential adverse effects of prolonged water deficit. Root length increased under moderate water deficit, possibly as an adaptive response to enhance water acquisition, whereas longer irrigation intervals resulted in reductions in morphological traits, possibly associated with impaired photosynthesis, stomatal closure, and cellular dehydration. Nutritional analysis revealed that crude protein (CP) content increased under moderate water deficit, reaching approximately 21% in the Hamadan and Saghez ecotypes, but declined under the longest irrigation interval to approximately 13%, possibly due to reduced nitrogen uptake. Fiber fractions, including neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), increased with increasing irrigation intervals, particularly at the 12-day interval, whereas the Paveh ecotype exhibited the highest fiber concentrations ($\sim 60\%$ NDF and $\sim 35\%$ ADF), suggesting increased cell wall deposition and potentially reduced digestibility. Correspondingly, digestible dry matter (DDM) decreased under severe water stress, whereas DDM remained higher ($\sim 79\%$) under moderate water stress, suggesting a potential balance between biomass production and forage quality. Ash content increased with increasing irrigation intervals, possibly reflecting changes in mineral accumulation or a biomass dilution effect. The Hamadan and Saghez ecotypes maintained higher digestibility and lower fiber concentrations under moderate water stress, highlighting their relative tolerance to water limitation. Overall, moderate water stress may induce adaptive responses, such as increased soluble sugar and protein levels, that contribute to the maintenance of forage quality. However, prolonged water deficit markedly reduced plant growth and forage quality, highlighting the importance of appropriate irrigation management and the selection of water-stress-tolerant ecotypes, particularly Hamadan, Saghez, and Ilam, for sustainable forage production under water-limited conditions.

Conclusion

This study highlights the significant effects of water deficit on the growth and forage quality of crownvetch ecotypes. Moderate water deficit improved certain forage quality traits, such as crude protein and digestibility, whereas prolonged water deficit markedly reduced biomass and forage quality. The Hamadan, Saghez, and Ilam ecotypes exhibited greater tolerance to water deficit, suggesting their potential suitability for cultivation under water-limited conditions. Implementing strategic management practices, including the selection of ecotypes tolerant to water deficit and appropriate irrigation management, may help sustain forage production under climate variability and water-limited conditions.

Keywords: Biological yield, Crude fiber, Crude protein, Digestible dry matter, Irrigation interval

بررسی تأثیر رژیم آبیاری بر برخی صفات مورفولوژیکی و کیفیت علوفه اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی (*Coronilla varia*) در شرایط گلخانه‌ای

رحیمه صابرفر^{۱*}، غلامرضا حیدری^{۲*}، فرزاد نظری^۳، سیروان بابائی^۴، ایوب ملاحمد نالوسی^۵

۱. دانشجوی دکتری اگرورتکنولوژی گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج
۲. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۴. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۵. استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پروتئین خام دور آبیاری فیبر خام ماده خشک قابل هضم عملکرد بیولوژیک	یونجه باغی (<i>Coronilla varia</i>) گیاهی چندساله بومی ایران است که در باغات و حاشیه مزارع به‌عنوان علف هرز یافت می‌شود. هدف این مطالعه بررسی تأثیر رژیم آبیاری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و کیفیت علوفه بذری اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی در تیرماه ۱۴۰۳ از شهرستان‌های نهاوند، همدان، سمنان، ایلام، کرمانشاه، پاوه، سنندج، مریوان، سقز و سروآباد جمع‌آوری شد. آزمایش گلخانه‌ای فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی و سه تکرار در دانشگاه کردستان اجرا شد. تیمارها شامل ۱۰ اکوتیپ بومی یونجه و فواصل آبیاری ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۲ روز بودند. نتایج نشان داد، رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورفولوژیک (عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه، طول ریشه) و صفات مرتبط با کیفیت علوفه دارد. بیشترین عملکرد بیولوژیک در اکوتیپ نهاوند تحت آبیاری ۶ روز و کمترین در پاوه با آبیاری ۱۲ روز مشاهده شد. عملکرد در آبیاری ۸ روز بیشترین مقدار را داشتند، درحالی‌که کمترین در پاوه و آبیاری ۱۲ روز ثبت شد. درصد پروتئین خام در اکوتیپ سقز و آبیاری ۱۲ روز به بیشترین مقدار رسید. فیبر خام در شوینده اسیدی و خنثی در اکوتیپ پاوه و آبیاری ۱۲ روز بیشترین بود، درحالی‌که کمترین در همدان و سروآباد و آبیاری ۶ روز ثبت شد. ماده خشک قابل هضم در اکوتیپ سقز و آبیاری ۴ روز از بیشترین مقدار برخوردار بود، اما در پاوه و آبیاری ۱۲ روز کمترین بود. خاکستر کل با افزایش دور آبیاری افزایش یافت و در پاوه به مقدار بیشینه رسید. نتایج نشان می‌دهد، اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی به رژیم‌های متفاوت آبیاری حساسیت دارند و تحمل محدودیت آب تا آبیاری ۸ روز قابل قبول است، زیرا در این سطح اکثر صفات در وضعیت مطلوب باقی ماندند و تفاوت معناداری با سطوح آبیاری مطلوب نداشتند.

مقدمه

به‌عنوان گونه‌ای پوششی و مرتعی برای کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن جو، افزایش فعالیت آنزیمی خاک و بهبود محیط خرد اقلیم خاک به کار می‌رود. همچنین در امتداد جاده‌ها و بزرگراه‌ها برای کنترل فرسایش خاک استفاده می‌شود (Molano-Flores, 2014). در ایران نیز در مراتع و باغات و در حاشیه مزارع استان‌های مازندران، ایلام، اردبیل،

یونجه باغی (*Coronilla varia* L.) که امروزه با نام علمی (*Securigera varia* L.) نام‌گذاری شده است، گیاهی چند ساله از خانواده بقولات (Fabaceae) است. این گیاه بومی اروپای مرکزی و جنوبی است و امروزه کشت آن در نواحی مدیترانه‌ای، روسیه، خاورمیانه و ایالات متحده آمریکا رایج است (Gustine and Moyer, 1990). در این مناطق

شرایط پایدار بود و عملکرد علوفه با درصد پروتئین همبستگی منفی و با درصد فیبر همبستگی مثبت داشت (Jafari et al., 2003). بررسی تنش خشکی متوسط و شدید بر ۶ گونه لگوم علوفه‌ای (یونجه زرد، یونجه پاکلاغی، یونجه مردابی، اسپرس زراعی، شبدر سفید و ماشک سیاه) نشان داد که اثر تنش خشکی بر ارزش غذایی، کمتر از عملکرد بود و در تنش شدید، کاهش غلظت پروتئین خام، فیبرهای نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی و افزایش کربوهیدرات محلول در آب مشاهده شد (Kuchenmeister et al., 2013). بررسی اثر تنش خشکی در بهار و تابستان و در زمان‌های برداشت متفاوت بر دو رقم یونجه (ارقام گلدکوئن و سانتوری) نشان داد، عملکرد و کیفیت یونجه در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند و سبب کاهش پروتئین خام و افزایش فیبر خام می‌شود (Liu et al., 2018).

در مطالعه‌ای بررسی عملکرد ماده خشک علوفه و کیفیت تغذیه‌ای پنج رقم تجاری یونجه تحت سه شرایط رطوبتی (آبیاری شده، دیم و تنش خشکی القاشده) در مراحل مختلف رشد (غنچه‌دهی، گلدهی اولیه و هفت روز پس از گلدهی اولیه) انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک مربوط به رقم HybriForce 3400 در شرایط آبیاری و برداشت در هفت روز پس از گلدهی بود. همچنین، تیمار آبیاری بیشترین عملکرد (۱۹/۴ تن در هکتار) را در مرحله غنچه‌دهی به خود اختصاص داد، در حالی که تیمار دیم و تنش خشکی عملکرد پایین‌تری (به ترتیب ۱۶/۳ و ۱۵ تن در هکتار) نشان دادند (Baral and Min, 2023). در مطالعه‌ای اثر آبیاری بر عملکرد و کیفیت یونجه، گزارش شد که تنش خشکی متوسط، تأثیر کمی بر عملکرد دارد. در مقابل، تنش خشکی شدید عملکرد و محتوای پروتئین را کاهش و محتوای فیبر را افزایش می‌دهد. بیشترین عملکرد و کیفیت با آبیاری در تنش خشکی متوسط، ۷ روز قبل از شاخه‌دهی و برداشت به دست آمد. این روش می‌تواند تولید یونجه را افزایش داده و مصرف آب را ۲۲ درصد کاهش دهد (Liu et al., 2025). برای کاهش اثرات تنش خشکی بر کیفیت علوفه، انتخاب رقم مناسب، زمان برداشت بهینه و مدیریت صحیح آبیاری نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. تنش آبی در مرحله رویشی ممکن است کیفیت علوفه را بهبود بخشد، اما تنش در طول دوره گلدهی می‌تواند به دلیل کاهش برگ‌ها، کیفیت علوفه را کاهش دهد (Liu et al., 2018). از این رو، انتخاب ارقام مقاوم به خشکی که از نظر صفات کمی و کیفی برتری داشته باشند،

گلستان، کردستان، لرستان، تهران، ارومیه، همدان، زنجان، شهرکرد، چهارمحال بختیاری، اصفهان، قم و مرکزی گزارش شده است (Salehi Shanjani et al., 2023). یونجه باغی در ایران به عنوان گیاهی مرتعی، علف هرز باغات و حاشیه مزارع شناخته شده و تاکنون از آن به عنوان رقم زراعی همراه با محصولات کشاورزی استفاده نگردیده است؛ بنابراین استفاده از گیاهان بومی مقاوم به خشکی و شوری به عنوان یکی از بهترین و مقرون به صرفه‌ترین راه‌های پایدار مقابله با کمبود منابع آبی، مورد توجه است (Simmons et al., 2011). یونجه باغی بیشتر برای برداشت علوفه کشت می‌شود؛ زیرا به راحتی هضم می‌شود و ارزش غذایی آن به خوبی با یونجه قابل مقایسه است (Yerlikaya et al., 2021). ارزش غذایی علوفه توسط یک تعامل پیچیده از عواملی مانند غلظت پروتئین، فیبر و مواد معدنی، نوع خاک، در دسترس بودن آب، تغییرات آب و هوایی، سطح شوری و متابولیسم گیاه تعیین می‌شود. درک این روابط و انجام تجزیه و تحلیل‌های کامل در مورد کیفیت برای تضمین تغذیه و شیوه‌های مدیریت بهینه دام بسیار مهم است (Abebe and Tu, 2024). یونجه باغی حاوی پروتئین خام به میزان ۱۶۷-۱۵۷ گرم در هر کیلوگرم، خاکستر ۸۵-۱۱۰ گرم، فیبر خام ۲۹۲-۳۴۲ گرم، فیبرهای نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی به ترتیب ۳۵۳-۳۰۳ و ۴۵۰-۵۱۹ گرم، ماده خشک قابل هضم ۶۵/۳۰-۶۱/۴۲ درصد، ارزش نسبی تغذیه‌ای ۱۳۵-۱۱۰ مگاژول بر کیلوگرم و انرژی متابولیسمی ۱۰/۵۳-۹/۹۵ مگاژول بر کیلوگرم دارد (Titei, 2021).

تغییرات اقلیمی جهانی معمولاً منجر به افزایش فراوانی و شدت تنش خشکی در مناطق وسیعی از جهان می‌شوند. در کنار پدیده خشکسالی، تنش خشکی به عنوان یکی از مهم‌ترین تهدیدهای پیش روی امنیت غذایی جهانی و پایداری تولیدات گیاهی مطرح است (Tariq et al., 2020). تنش خشکی در طول چرخه زندگی گیاه، از مرحله جوانه‌زنی بذر تا بلوغ، اثرات منفی قابل توجهی بر رشد و عملکرد دارد. این تنش موجب کاهش یا تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی، تضعیف فتوسنتز و متابولیسم، کاهش جذب عناصر غذایی از خاک و در نهایت افت تولید ماده خشک می‌شود (Huang et al., 2020).

تنش خشکی در مقایسه با آبیاری مطلوب تفاوت معنی‌داری برای ارتفاع بوته و درصد پروتئین ۱۸ رقم و اکوتیپ یونجه داشته است. همبستگی بین صفات در هر دو

امری ضروری است. هدف این مطالعه، بررسی ویژگی‌های کیفی علوفه اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی تحت شرایط تنش خشکی است تا راهکار مؤثری برای بهبود عملکرد و کیفیت علوفه در شرایط محدودیت آب ارائه شود. باتوجه به چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش وقوع و شدت تنش خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، و نیز نیاز به توسعه کشت گونه‌های بومی و مقاوم برای تولید پایدار علوفه، این پژوهش با هدف بررسی اثر رژیم آبیاری در مراحل مختلف رشد بر صفات مورفولوژیک و کیفی علوفه در اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی انجام شد. نتایج این مطالعه می‌تواند به شناسایی اکوتیپ‌های مقاوم، تدوین رژیم آبیاری بهینه و ارتقای بهره‌وری آب در تولید علوفه، به‌ویژه در مناطق با محدودیت منابع آبی، کمک نماید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیک و کیفی علوفه یونجه باغی، بذر اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی در تیرماه سال ۱۴۰۲ از باغات و حاشیه مزارع شهرستان‌های (نهاد، همدان، سمنان، ایلام، کرمانشاه، پاوه، سنندج، مریوان، سقز، سروآباد) جمع‌آوری و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید. سپس آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشگاه کردستان در اسفندماه سال ۱۴۰۳ انجام شد. عامل اول شامل اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی و عامل دوم رژیم آبیاری شامل دوره‌های آبیاری ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۲ روز بود. برای تهیه بوته‌های یکسان، بر اساس روش تاپ پیپر، تعداد ۵۰ عدد بذر از هر اکوتیپ پس از ضدعفونی بر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۱ در پتری دیش‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر در ژرمیناتور (مدل MLR-350H، شرکت الکتریک سانپو ژاپن) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در شرایط ۸ ساعت نور و ۱۶ ساعت تاریکی قرار داده شد (ISTA, 2018). پس از جوانه‌زنی، بذرهای یکنواخت هر اکوتیپ انتخاب و به تعداد ۵ عدد در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع و قطر دهانه ۲۱ سانتی‌متر و سطح مقطع ۱۷۵ سانتی‌متر مربع کشت شدند. بستر کاشت شامل مخلوط خاک زراعی، ماسه و کود دامی پوسیده به نسبت حجمی یک‌به‌یک‌به‌یک (۱:۱:۱) بود. گلدان‌ها در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای با میانگین دمای روزانه ۲۵ و شبانه ۱۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و طول روز ۱۴ ساعت نگهداری شدند. پس از استقرار گیاه و رسیدن

به مرحله چهاربرگی، تعداد بوته‌ها به دو بوته در هر گلدان کاهش یافت. با آغاز مرحله تشکیل انشعابات فرعی (تقریباً ۲ ماه پس از کاشت)، تیمار رژیم آبیاری بر اساس دوره‌های مختلف آبیاری اعمال شد. در هر نوبت آبیاری، گلدان‌ها توزین و رطوبت خاک تا ظرفیت زراعی ($FC = \frac{1}{100}$) تنظیم شد. پس از گذشت دو ماه از آغاز تیمارها، نمونه‌برداری انجام و گیاهان جهت بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و کیفیت علوفه به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور تعیین عملکرد بیولوژیک، پس از برداشت اکوتیپ‌های مختلف، نمونه‌ها در آون مدل (مدل UNE 500) در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شد و سپس نمونه‌ها توزین شدند. ارتفاع ساقه و طول ریشه با استفاده از خط کش برآورد گردید. خصوصیات کیفی علوفه اکوتیپ‌های مختلف شامل درصد پروتئین خام، درصد فیبرهای نامحلول در شوینده اسیدی و شوینده‌های خنثی، درصد ماده خشک قابل‌هضم، درصد فیبر خام و درصد خاکستر کل بر اساس دستورالعمل (AOAC, 2019) در علوفه خشک اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری پروتئین خام نمونه از دستگاه کجلدال استفاده شد. مقدار ازت برای هر نمونه قرائت شده (AOAC, 2019) و مقدار پروتئین خام با استفاده از فرمول (Nolan, 2007) محاسبه گردید (رابطه ۱).

$$CP = \%N \times 6.25 \quad [1]$$

دیواره سلولی عاری از همی سلولز در شوینده‌های اسیدی و دیواره سلولی در شوینده‌های خنثی، با استفاده از روش (Van Soest, 1963) در دستگاه فایبرتیک (FA200) اندازه‌گیری شدند. درصد ماده خشک قابل‌هضم بر اساس فرمول پیشنهادی (Oddy, 1983)، بر مبنای درصد ازت (N) و فیبر نامحلول در شوینده‌های اسیدی (ADF) برآورد شد (رابطه ۲).

$$DMD = 83.58 - 0.824 \%ADF + 2.262\% \quad [2]$$

برای تعیین درصد فیبر خام، نیم‌گرم نمونه آسیاب شده در کروسبیل ریخته و در دستگاه فایبرتیک با اسیدسولفوریک جوشانده شد. سپس کروسبیل‌ها به مدت ۱۲ ساعت در آون با دمای ۸۰-۹۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن آن‌ها (W1) ثبت شد. نمونه‌ها برای محاسبه فیبر به مدت ۴ ساعت در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن نهایی (W2) ثبت شد. درصد فیبر خام بر اساس رابطه (۳) و (۴) محاسبه گردید.

$$[3] \quad W1 - W2 = \text{میزان فیبر خام}$$

(۱۰۰× وزن نمونه اولیه (گرم)/ میزان فیبر خام =٪ فیبر خام [۴]

برای تهیه خاکستر از نمونه‌های آسیاب شده، یک نمونه ۱۰ گرمی جدا و به مدت ۵ ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس با توزین آن مقدار خاکستر برآورد شده و جهت محاسبه درصد خاکستر از رابطه (۵) استفاده گردید.

[۵] $100 \times \text{وزن نمونه اولیه} / \text{وزن خاکستر} = \text{درصد خاکستر}$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS (نسخه ۹/۴) و مقایسات میانگین تیمارهای آزمایشی بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح یک درصد انجام شد. نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک یونجه باغی معنی‌دار است (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ در رژیم آبیاری نشان داد بالاترین عملکرد بیولوژیک در دور آبیاری ۶ روز برای اکوتیپ نهاوند و کمترین عملکرد بیولوژیک در دور آبیاری ۱۲ روز برای اکوتیپ پاهو به‌دست آمد. عملکرد بیولوژیک برای تمامی اکوتیپ‌ها در دور آبیاری ۱۲ روز نسبت به سایر دوره‌های آبیاری کاهش یافت. بیشترین عملکرد بیولوژیک برای اکوتیپ‌های همدان و نهاوند در دور آبیاری ۱۲ روز، اکوتیپ‌های سمنان و سنندج در دور آبیاری ۴ روز و سایر اکوتیپ‌ها در دور آبیاری ۶ روز مشاهده گردید (جدول ۲). در پژوهشی افزایش ارتفاع بوته را علت افزایش وزن خشک برگ، ساقه و عملکرد علوفه سورگوم در شرایط اعمال آبیاری مطلوب بیان کرده‌اند. افزایش ارتفاع سبب بهبود جذب نور خورشید و در نتیجه افزایش فرایند فتوسنتز می‌گردد (Abrishami et al., 2023). در بررسی پاسخ شبدر قرمز به رژیم‌های آبیاری، افزایش وزن خشک و عملکرد علوفه به افزایش ارتفاع و تعداد برگ‌ها در آبیاری بهینه نسبت داده شد. در شرایط کم آبیاری، فتوسنتز کاهش یافته و منجر به کاهش وزن خشک می‌شود. تنش کم‌آبی نیز به کاهش فتوسنتز حقیقی و افزایش تنفس گیاه منجر می‌شود که تجمع ماده

خشک را کاهش می‌دهد. کمبود رطوبت همچنین با کاهش شاخص سطح برگ از طریق کاهش تولید و افزایش پیری برگ‌ها اثر می‌گذارد (Lopez-Olivari and Ortega- Klose, 2021). در این تحقیق نیز می‌توان افزایش ارتفاع را عامل مؤثری بر جذب نور دانست که سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است. کاهش عملکرد بیولوژیک در دور آبیاری ۱۲ روز نیز به علت کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور و درنهایت کاهش فتوسنتز است. در بررسی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه ارقام گندم مشاهده شد که در اکثر ژنوتیپ‌های گندم، وزن خشک ریشه در تیمار تنش خشکی کمتر بود (Ezzati et al., 2024)، همچنین نتایج تحقیقات دیگر نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش وزن تر ریشه می‌شود (Faisal et al., 2017; Hasan et al., 2021). در این تحقیق نیز تا سطحی از آبیاری (دور آبیاری ۶ روز و ۸ روز) افزایش عملکرد بیولوژیک مشاهده گردید؛ ولی در دور آبیاری ۱۲ روز باعث کاهش ۱۶ تا ۳۳ درصدی عملکرد نسبت به حداکثر عملکرد ثبت شده در هر اکوتیپ شده است. این کاهش معنادار عملکرد در دور آبیاری طولانی‌تر، نشان‌دهنده حساسیت اکوتیپ‌ها به تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای است و می‌تواند مبنایی برای تعیین رژیم آبیاری بهینه باشد.

ارتفاع ساقه و طول ریشه

اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع ساقه و طول ریشه یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ در رژیم آبیاری نشان داد بالاترین ارتفاع ساقه و طول ریشه در دور آبیاری ۸ روز برای اکوتیپ نهاوند، و کمترین ارتفاع ساقه و طول ریشه در دور آبیاری ۱۲ روز برای اکوتیپ پاهو به‌دست آمد. ارتفاع ساقه و طول ریشه برای تمامی اکوتیپ‌ها در دور آبیاری ۱۲ روز نسبت به سایر دوره‌های آبیاری کاهش یافت. بیشترین ارتفاع ساقه برای اکوتیپ‌های همدان و نهاوند در دور آبیاری ۱۲ روز، اکوتیپ‌های پاهو و مریوان در دور آبیاری ۴ روز و سایر اکوتیپ‌ها در دور آبیاری ۶ روز و بیشترین طول ریشه برای اکوتیپ‌های همدان، نهاوند، پاهو و سنندج در دور آبیاری ۸ روز و برای اکوتیپ مریوان در دور آبیاری ۴ روز و سایر اکوتیپ‌ها در دور آبیاری ۶ روز مشاهده گردید (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و کیفیت علوفه اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی تحت رژیم آبیاری

Table 1. Analysis of variance (mean squares) of forage yield and quality of different crown vetch ecotypes under Irrigation regime

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	ارتفاع ساقه Shoot height	طول ریشه Root length	درصد پروتئین خام Crude Protein
Ecotype (E)	اکوتیپ	9	433.35*	105.04*	414.22*	62.86*
Drought stress (DS)	رژیم آبیاری	4	143.43*	39.29*	1402.72*	64.97*
E × DS	اکوتیپ × رژیم آبیاری	36	12.03*	5.32*	71.74*	0.787*
Error	خطای آزمایش	98	3.66	0.0615	12.92	0.334
CV (%)		-	8.57	6.67	4.094	3.39

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	درصد فیبر خام در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	درصد فیبر خام در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	درصد ماده خشک قابل هضم Digestible dry matter	درصد فیبر خام Crude fiber	درصد خاکستر کل Total ash
Ecotype (E)	اکوتیپ	9	593.36*	476.6*	654.5*	91.17*	21.29*
Drought stress	رژیم آبیاری	4	481.08*	587.8*	1361.2*	46.04*	53.46*
E × DS	اکوتیپ × آبیاری	36	23.86*	27.73*	28.02*	0.57*	0.79*
Error	خطای آزمایش	98	2.211	1.170	7.55	0.278	0.185
CV (%)		-	3.91	2.46	4.60	3.80	4

* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌دار

* and ns: Significant at 1% probability level and non-significant, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد بیولوژیک، ارتفاع ساقه و طول ریشه در اکوتیپ‌های یونجه باغی

Table 2. Comparison of the interaction effects of Irrigation regime and ecotype on of Biological yeild , height of shoot and Length of root, in different crown vetch ecotypes

Ecotype	اکوتیپ	عملکرد بیولوژیک (gr) Biological yeild (gr)					ارتفاع ساقه (cm) Height of shoot (cm)				
		2	4	6	8	12	2	4	6	8	12
Hamedan	همدان	25.4 ^{d-g}	27.4 ^{b-e}	29.8 ^{9b}	34.91 ^a	23.6 ^{g-k}	28.5 ^{d-f}	27.4 ^{e-g}	26.4 ^{f-h}	36.6 ^b	26.4 ^{f-h}
Nahavand	نهادوند	26.5 ^{c-g}	29.9 ^b	33.6 ^a	36 ^a	25 ^{e-h}	29.5 ^{d-f}	30.5 ^{k-m}	30.5 ^{f-h}	40.7 ^{h-i}	29.5 ^{j-l}
Paveh	پاوه	15.6 ^{q-t}	16.8 ^{p-s}	18.3 ^{o-q}	14.2 ^{s-u}	12.3 ^u	21.3 ^{f-g}	22.4 ^{j-l}	21.3 ^{gih}	18.3 ^{g-i}	17.3 ^{g-i}
Semnan	سمنان	23.2 ^{h-k}	25.1 ^{d-h}	24.6 ^{e-i}	22.3 ^{h-m}	19.3 ^{m-p}	24.4 ^{e-h}	24.4 ^{k-m}	27.4 ^c	23.4 ^{cd}	21.3 ^{f-h}
Sanandaj	سنندج	26.8 ^{c-f}	28.8 ^{bc}	28.1 ^{b-d}	23.8 ^{f-j}	22.9 ^{h-l}	26.4 ^b	25.4 ^{no}	31.5 ^{e-g}	27.4 ^{f-h}	24.4 ^{i-k}
Sarvabad	سروآباد	21 ^{j-o}	20.7 ^{k-o}	23 ^{h-k}	20.9 ^{j-o}	19.1 ^{n-p}	25.4 ^{f-h}	23.4 ^o	27.4 ^{h-j}	21.3 ^{h-j}	19.3 ^{h-j}
Saghez	سقز	25.1 ^{d-h}	26.5 ^{c-g}	33.1 ^a	27.1 ^{b-e}	23.5 ^{g-k}	24.4 ^{c-e}	25.4 ^{h-j}	30.5 ^{g-i}	26.4 ^{k-m}	24.4 ^{l-n}
Kermanshah	کرمانشاه	17.4 ^{p-r}	18 ^{o-q}	21.6 ⁱ⁻ⁿ	20.5 ^{k-o}	16 ^{r-t}	21.3 ^{cd}	24.4 ^{h-j}	25.4 ^{i-k}	21.3 ^{h-j}	19.3 ^{h-j}
Ilam	ایلام	18 ^{o-q}	19.2 ^{m-p}	19.9 ^{l-p}	18.1 ^{o-q}	16 ^{q-t}	22.4 ^{cd}	25.4 ^{e-g}	26.4 ^{e-g}	23.4 ^{g-i}	20.3 ^k
Marivan	مریوان	15.5 ^{q-t}	17 ^{p-s}	17.2 ^{p-s}	14.5 ^{r-u}	13.3 ^{tu}	20.3 ^a	24.4 ^{i-k}	23.4 ^{k-m}	21.3 ^{k-m}	18.3 ^{k-m}

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

Ecotype	اکوتیپ	Length of root (cm)					طول ریشه
		2	4	6	8	12	
Hamedan	همدان	82.3 ^{n-q}	87.9 ^{rs}	88.8 ^{p-s}	90.9 ^{q-s}	74.7 ^{f-k}	
Nahavand	نهایوند	96.3 ^{j-n}	99.6 ^{ts}	103.9 ^{l-p}	109 ^{l-p}	80.1 ^{e-j}	
Paveh	پاوه	74.7 ^{i-m}	73.6 ^{l-p}	84.4 ⁱ⁻ⁿ	90.9 ^{bc}	70.4 ^{c-e}	
Semnan	سمنان	84.4 ^{f-k}	88.8 ^{f-k}	92.01 ^a	92 ^{m-p}	77.9 ^{c-h}	
Sanandaj	سنندج	79.02 ^{r-t}	84.4 ^t	86.6 ^{p-s}	106 ^{r-t}	79 ^{g-l}	
Sarvabad	سروآباد	84.4 ^{c-f}	86.6 ^{l-p}	98.5 ^{l-p}	96.3 ⁱ⁻ⁿ	73.6 ^{r-t}	
Saghez	سقز	77.9 ^{bc}	84.4 ^{i-m}	99.6 ^{j-n}	83.3 ^{e-i}	74.7 ^{c-h}	
Kermanshah	کرمانشاه	87.7 ^{ab}	93.1 ^{e-i}	97.4 ^{b-d}	95.3 ^{c-e}	85.5 ^{i-m}	
Ilam	ایلام	90.9 ^a	92.01 ^{e-i}	96.3 ^{c-e}	94.2 ^{c-g}	89.8 ^{g-k}	
Marivan	مریوان	74.7 ^{r-t}	94.2 ^{e-h}	88.8 ^{i-m}	90.9 ^{f-j}	82.3 ^{n-p}	

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطوح تیماری است. اعداد ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۲ نشان‌دهنده دور آبیاری (روز) هستند.

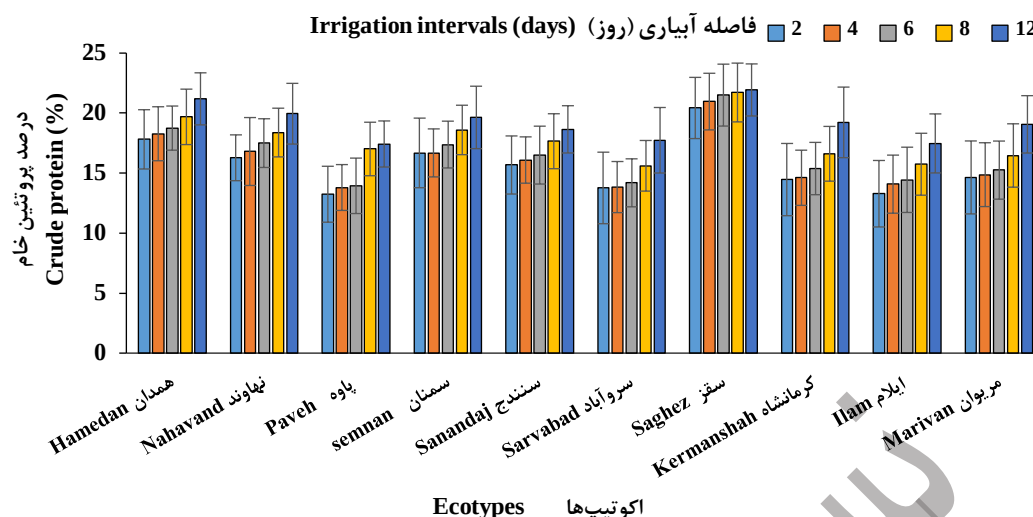
Similar letters in each column indicate no significant difference in treatment levels. Numbers 2, 4, 6, 8, and 12 indicate irrigation intervals (days).

نشد. در اکوتیپ سقز دور آبیاری ۲ و ۴ روز و دور آبیاری ۶، ۸ و ۱۲ روز اختلاف معنی‌دار نداشتند. در تمامی اکوتیپ‌ها با افزایش دور آبیاری میزان درصد پروتئین خام افزایش یافت که بیشترین افزایش (۲۱/۷۵ درصد) مربوط به اکوتیپ کرمانشاه و کمترین افزایش (۶/۸۳ درصد) مربوط به اکوتیپ سقز بود (شکل ۱). غلظت خاص پروتئین خام نتیجه جذب نیتروژن و توسعه تولید زیست‌توده در زمان است که تا حد زیادی با در دسترس بودن آب تعیین می‌شود. در شرایط تنش خشکی شدید، عملکرد تثبیت نیتروژن در یونجه حدود ۱۵ درصد کمتر از شرایط تنش خشکی ملایم گزارش شده است؛ این کاهش می‌تواند توجیه‌کننده کاهش غلظت پروتئین خام در تیمارهای تحت تنش، نسبت به تیمار شاهد (بدون تنش)، باشد (Kuchenmeister et al., 2013). اثرات تنش کم‌آبی و شوری بر پروتئین یا نیتروژن در گیاهان بسته به محیط و رقم متفاوت است و می‌تواند از دو جنبه مورد توجه قرار گیرد: جذب نیتروژن و تجمع فتوسنتز (Wang and Baerenklau, 2014). تنش کم‌آبی بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد و تجمع زیست‌توده و جذب نیتروژن را کاهش می‌دهد (Ran et al., 2018; Zhou et al., 2020). مطالعات نشان داده‌اند که اگرچه جذب نیتروژن با افزایش مقدار آبیاری بهبود می‌یابد، اما غلظت پروتئین خام در واحد جرم خشک با رقیق‌سازی کاهش می‌یابد، یعنی کمبود آب، پروتئین خام یونجه را بهبود می‌بخشد (Cavero et al., 2017).

کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها در شرایط تنش خشکی سبب کاهش تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها می‌شود و فشار تورژسانس سلول‌های ساقه کاهش می‌یابد. همچنین تولید مواد اصلی فتوسنتز محدود می‌شود که منجر به کاهش طول میان‌گره‌های ساقه و در نتیجه کاهش ارتفاع بوته‌ها در مواجهه با خشکی می‌گردد. افزایش شدت تنش سبب کاهش ارتفاع ساقه و بوته در کنگد گردید (Momeni et al., 2021). آبیاری ناکافی سبب کاهش طول ریشه می‌شود، اما افزایش شدت تنش به دلیل تغییرات در سیستم ریشه می‌تواند منجر به افزایش طول ریشه گردد. گزارش‌ها نشان می‌دهند که تنش متوسط، در مقایسه با شرایط بدون تنش، سبب کاهش طول ریشه می‌شود، اما افزایش شدت تنش می‌تواند موجب افزایش طول ریشه گردد (Gheysari et al., 2015).

درصد پروتئین خام

اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر درصد پروتئین خام یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری نشان داد بالاترین درصد پروتئین خام (۲۱/۹۳) در دور آبیاری ۱۲ روز برای اکوتیپ سقز و کمترین آن (۱۳/۲۴) در دور آبیاری ۲ روز برای اکوتیپ پاوه به دست آمد. برای تمامی اکوتیپ‌ها به جز اکوتیپ سقز در دور آبیاری ۲، ۴ و ۶ روز تفاوت معنی‌دار بین درصد پروتئین خام مشاهده



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد پروتئین خام (میل‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=3) هستند)

Fig. 1. Comparison of the mean interaction effect of irrigation regime in different crown vetch ecotypes on crude protein percentage (Bars represent mean $\pm$ SE based on three replicates, n = 3)

حداکثر سطح پروتئین خام با آبیاری استاندارد و برداشت در مرحله شاخه‌دهی به‌دست آمد. باین‌حال، در یک آزمایش گلدانی، تفاوت معنی‌داری بین یونجه کشت‌شده در شرایط بهینه (۷۰ درصد ظرفیت آب مزرعه) و تنش خشکی (۴۰ درصد ظرفیت آب مزرعه) مشاهده نشد (Staniak, and Kharazmi et al., 2020) و در تحقیق دیگری (Harasim, 2018) با افزایش تنش آبی، پروتئین خام و سایر ترکیبات کاهش یافتند و تنش خشکی کیفیت یونجه را افزایش داد. تولید پروتئین خام نقشی حیاتی در تغذیه نشخوارکنندگان داشته و در یونجه معمولاً بین ۱۵ تا ۲۲ درصد است. این میزان بالا به‌خاطر کارایی زیاد این گیاه در تثبیت نیتروژن است. اما خشکسالی می‌تواند روی درصد پروتئین خام در حبوبات علوفه‌ای چندساله تأثیر بگذارد. به‌طورکلی، افزایش زیست‌توده برگ می‌تواند به افزایش سطح پروتئین خام یونجه کمک کند (Diatta et al., 2021). در یک تحقیق کمترین و بیشترین درصد پروتئین خام به‌ترتیب در مرحله گل‌دهی و بذردهی یونجه باغی در منطقه جواهرده رامسر به‌دست آمد (Erfanzadeh, 2002). در این تحقیق کمترین میزان درصد پروتئین خام متعلق به اکوتیپ پاوه بود.

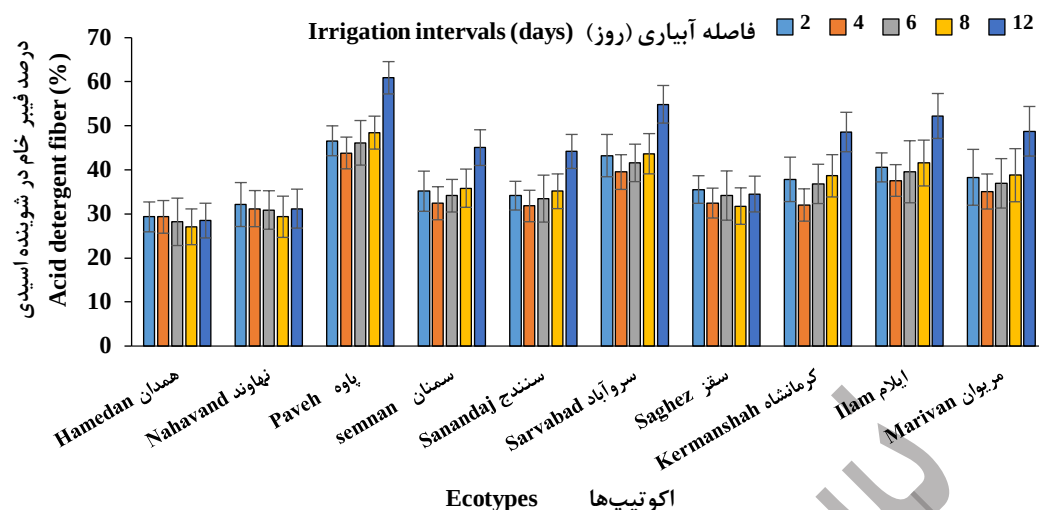
درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی

اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه

در مطالعه‌ای نشان داده شد که پروتئین خام یونجه تحت تنش ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه در مقایسه با گیاهانی که تحت تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد است ۲۴ درصد افزایش داشته است (Jafarian et al., 2016). در پژوهشی درصد پروتئین خام دو رقم یونجه بر اساس زمان، شدت خشکسالی و نوع رقم متفاوت بود. در سال اول خشکسالی متوسط تأثیری بر درصد پروتئین خام نداشت؛ خشکسالی شدید درصد پروتئین خام را در هر دو رقم نسبت به نمونه‌های کنترل کاهش داد. رقم گلد کوئین به‌طور قابل‌توجهی درصد پروتئین خام بالاتری نسبت به سانتوری داشت. خشکسالی و زمان برداشت تأثیر قابل‌توجهی بر درصد پروتئین خام داشتند. در سال دوم، برداشت دیر هنگام پس از خشکسالی اواخر بهار کمترین درصد پروتئین خام را داشت. بالاترین درصد پروتئین خام در گلد کوئین زود برداشت شده پس از خشکسالی شدید اوایل بهار بود. کمترین درصد پروتئین خام در سانتوری دیر برداشت شده پس از خشکسالی شدید اواخر بهار بود (Liu et al., 2018)؛ بنابراین کاهش مصرف آب می‌تواند محتوی درصد پروتئین خام را افزایش دهد (Diatta et al., 2021). در پژوهشی (Liu et al., 2025) اثر تنش خشکی متوسط یا شدید در پنج مرحله رشدی برداشت شده نشان داد که خشکی شدید محتوای پروتئین خام را به‌طور قابل‌توجهی برای همه رژیم‌های برداشت کاهش داد. خشکی متوسط محتوای پروتئین خام بالاتری نسبت به آبیاری استاندارد برای برداشت‌ها در مرحله غنچه‌دهی و اوایل گلدهی ایجاد کرد، اما

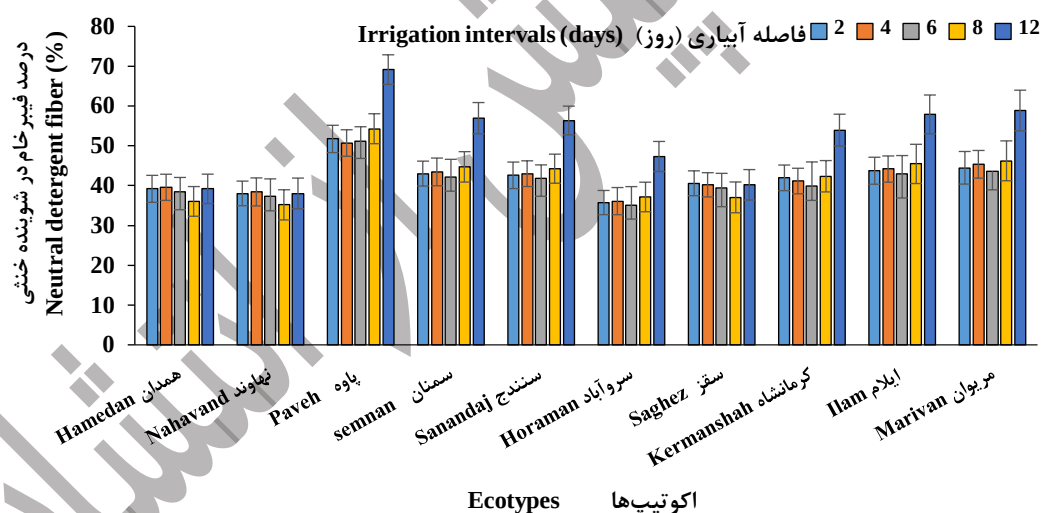
میانگین اثر متقابل اکوتیپ در رژیم آبیاری نشان داد بالاترین (۶۰/۹۰) درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی در دور آبیاری ۱۲ روز برای اکوتیپ پاوه و کمترین آن (۲۷/۰۷) در دور آبیاری ۶ روز برای اکوتیپ همدان به دست آمد. برای تمامی دوره‌های آبیاری بالاترین درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی در اکوتیپ پاوه و کمترین درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی در اکوتیپ همدان مشاهده شد. برای تمامی دوره‌های آبیاری بالاترین درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی در اکوتیپ پاوه و کمترین درصد فیبرهای خام شوینده خنثی در دور آبیاری ۲، ۴ و ۶ روز در اکوتیپ سروآباد و دور آبیاری ۸ و ۱۲ روز در اکوتیپ نهاوند مشاهده شد. درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی از دور آبیاری ۲ روز به ۴ روز در اکوتیپ‌های پاوه، سمنان، سنج، سروآباد، کرمانشاه، ایلام و مریوان روند کاهشی داشته و از دور آبیاری ۶ تا ۱۲ روز روند افزایشی شد. در اکوتیپ‌های نهاوند و همدان از دور ۲ به ۸ روز روند کاهش و در دور ۱۲ روز افزایش یافت و به‌طور کلی از نظر آماری اختلاف معنی‌دار در دوره‌های آبیاری در این دو اکوتیپ مشاهده نشد. در اکوتیپ سقز از دور آبیاری ۲ به ۴ روز روند کاهشی و در ۶ روز افزایش و سپس در دور ۸ و ۱۲ روز روند کاهشی نسبت به دور ۲ روز مشاهده شد. بالاترین درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی در دور آبیاری ۱۲ روز برای اکوتیپ پاوه و کمترین آن در دور آبیاری ۶ روز برای اکوتیپ سروآباد به دست آمد. در تمام اکوتیپ‌ها برای درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی در دور آبیاری ۲، ۴ و ۶ روز اختلاف معنی‌دار مشاهده نگردید. دور آبیاری ۱۲ روز نسبت به دور آبیاری ۲ روز برای تمامی اکوتیپ‌ها افزایش درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی را نشان داد؛ ولی در اکوتیپ همدان، نهاوند و سقز کاهش یا تساوی را نشان داد (شکل ۲ و ۳). کمترین و بیشترین درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی (۳۳ و ۴۹/۵) و درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی (۳۲/۸۷ و ۴۴/۳۷) به ترتیب در مرحله گل‌دهی و بذردهی یونجه باغی در منطقه جواهرده رامسر به دست آمد (Erfanzadeh, 2002). درصد فیبرهای خام شوینده اسیدی و خنثی در دو رقم یونجه اختلافی نداشتند و تنش خشکی متوسط در بهار یا تابستان تأثیری بر درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی نداشت و در فصل بهار، خشکسالی زودرس و دیررس نسبت درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی و خنثی را به طور مساوی افزایش داد. جالب‌توجه است که تنش شدید خشکی ممکن است با کاهش

محتوای پروتئین خام، فیبرهای خام شوینده اسیدی و خنثی و درعین حال افزایش کربوهیدرات‌های محلول در آب، کیفیت علوفه و قابلیت هضم آن را افزایش دهد (Kuchenmeister et al., 2013). درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی در یونجه با تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) در مقایسه با (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، به طور قابل توجهی کاهش یافت (Abid et al., 2016). ازسوی دیگر (Jafarian et al., 2016) تفاوت معنی‌داری در محتوای درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی برای گیاه یونجه تحت محدودیت‌های رژیم آبی مشاهده نکرد، اگرچه تأمین آب از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد برای تکمیل نیاز آبی گیاه کاهش یافت. به طور مشابه، درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی گیاهان یونجه دیم نسبت به گیاهان کاملاً آبیاری شده کاهش بیشتری داشت که می‌تواند منجر به افزایش مصرف خوراک شود (Holman et al., 2016). در تحقیقی دیگر درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی بین ارقام یونجه که تحت ۵۰ درصد تأمین آب موردنیاز گیاه و تأمین آب ۱۰۰ درصد رشد کرده بودند، تفاوت معنی‌داری نداشت (Jafarian et al., 2016). در تحقیقی به طور متوسط ۷ درصد افزایش در محتوای درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی برای یونجه کشت شده در زیر ۱۰ تا ۱۵ درصد ظرفیت آب قابل‌استفاده خاک (شرایط شدید کمبود آب)، در مقایسه با سطح آب بهینه (۴۸ درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی) مشاهده شد (Liu et al., 2018). برداشت دیر هنگام و زود هنگام علاوه بر تنش بر درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی اثرگذار است، به‌طوری که برداشت دیر هنگام سبب افزایش درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی شد و در شرایط تنش خشکی متوسط در فصل بهار برداشت دیر هنگام و زود هنگام و خشکی شدید در تابستان به طور قابل توجهی درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی افزایش یافت، ولی نسبت درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی تحت تنش خشکی شدید بهار و خشکی متوسط در تابستان کاهش یافت. تنش خشکی به طور قابل توجهی بر عملکرد یونجه و ترکیب تغذیه‌ای آن تأثیر می‌گذارد. مطالعات نشان می‌دهد که کمبود آب، عملکرد وزن خشک و محتوای پروتئین خام را کاهش می‌دهد، درحالی که بخش‌های فیبرهای خام شوینده اسیدی و خنثی را افزایش می‌دهد (Liu et al., 2018). در بررسی اثر سطوح آبیاری و کودهای مختلف تفاوت معنی‌داری بین آبیاری ۸۰ درصد و کامل در



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد فیبر خام در شوینده اسیدی (میل‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Fig. 2. Mean comparison of interaction of irrigation regime in different crown vetch ecotypes on acid detergent fiber percentage (Bars represent mean $\pm$ SE based on three replicates, n = 3)



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد فیبر خام در شوینده خنثی (میل‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Fig. 3. Mean comparison of interaction of irrigation regime in different crown vetch ecotypes on neutral detergent fiber percentage (Bars represent mean $\pm$ SE based on three replicates, n = 3)

مختلف رشدی نیز روند افزایشی نشان داد. تفاوت بین تنش خشکی متوسط و آبیاری استاندارد کمتر از تفاوت هر یک از این دو در مقایسه با خشکی شدید بود (Liu et al., 2025). فیبر به‌طور کلی تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که شامل مرحله رشد گیاه، نسبت برگ به ساقه، شرایط محیطی مانند خشکسالی، دما و طول دوره نوری، و همچنین میزان

درصد فیبرهای خام در شوینده خنثی نبود. تأثیر کود بر ماده خشک قابل‌هضم و درصد فیبرهای خام در شوینده اسیدی معنی‌دار بود و تنش خشکی کیفیت یونجه را افزایش داد (Kharazmi et al., 2020). میزان فیبرهای خام شوینده اسیدی و خنثی تحت تنش خشکی شدید به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و با کاهش تعداد برداشت، در تمامی مراحل

دسترسی به مواد مغذی می‌شود. تأخیر در بلوغ گیاه تحت شرایط خشکی می‌تواند به کاهش غلظت‌های فیبر ساختاری مانند فیبرهای خام شوینده اسیدی و خنثی منجر شود. فیبر شوینده اسیدی از لیگنین و سلولز تشکیل شده است و محتوای فیبر شوینده خنثی تخمینی از سطوح سلولز، همی‌سلولز و لیگنین ارائه می‌دهد که با قابلیت هضم دیواره‌های سلولی رابطه منفی دارند (Sanz-Saez et al., 2012). افزایش دور آبیاری به‌ویژه بر غلظت فیبرهای خام شوینده خنثی تأثیرگذارتر از فیبرهای خام شوینده اسیدی بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همی‌سلولز بیشتر از سایر اجزای دیواره سلولی تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. باین‌حال، یافته‌های مربوط به تغییرات همی‌سلولز در واکنش به خشکی در مطالعات مختلف متناقض است.

درصد ماده خشک قابل هضم

اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر درصد ماده خشک قابل هضم یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری نشان داد بالاترین درصد ماده خشک قابل هضم (۷۹/۴۶) در دور آبیاری ۴ روز، اکوتیپ سقز و کمترین درصد ماده خشک قابل هضم (۳۹/۰۶) در دور آبیاری ۱۲ روز، اکوتیپ پاهو مشاهده شد. به‌طور کلی کمترین درصد ماده خشک قابل هضم در تمام دوره‌های آبیاری متعلق به اکوتیپ پاهو بود و بیشترین درصد ماده خشک قابل هضم در دور آبیاری ۲، ۶، ۸ و ۱۲ روز متعلق به اکوتیپ همدان و در دور آبیاری ۴ روز درصد ماده خشک قابل هضم برای تمامی اکوتیپ‌ها بیشتر از سایر دوره‌های آبیاری بود (شکل ۴). پایین‌بودن ماده خشک قابل هضم علوفه احتمالاً به علت بودن بالا دیواره سلولی عاری از همی سلولز (درصد فیبر خام در شوینده اسیدی) آن است (Bilal et al., 2017). ماده خشک قابل هضم نشان‌دهنده انرژی قابل هضم علوفه است و با انرژی متابولیسمی و مواد مغذی ارتباط دارد. اگر قابلیت هضم ماده خشک علوفه بیش از ۵۰ درصد باشد، مفید است. کیفیت علوفه به ترکیبات شیمیایی مانند نیتروژن و پروتئین خام بستگی دارد، درحالی‌که الیاف خام و NDF و ADF تأثیر منفی بر هضم‌پذیری دارند (Arzani, 2012). در یونجه، عرضه محدود آب، محتوای درصد فیبر خام در شوینده اسیدی را در مقایسه با گیاهان با آبیاری خوب (۳۱۶ گرم در

۱ کیلوگرم) به دلیل افزایش نسبت برگ به ساقه، ۲۲ درصد کاهش داد که نشان‌دهنده افزایش قابلیت هضم تحت کاهش دسترسی به آب است (Holman et al., 2016). قابلیت هضم ماده خشک در شرایط آزمایشگاهی تابعی از قابلیت هضم ساقه و نسبت وزن برگ به ساقه است و با عملکرد حیوان همبستگی مثبت دارد (Diatla et al., 2021). تخمین زده شد که کاهش روزانه ۰/۵ درصدی در قابلیت هضم ماده خشک در شرایط آزمایشگاهی در یونجه ناشی از کاهش کیفیت ساقه و افزایش فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی با بالغ‌شدن گیاهان است (Putnam, and Orloff, 2014).

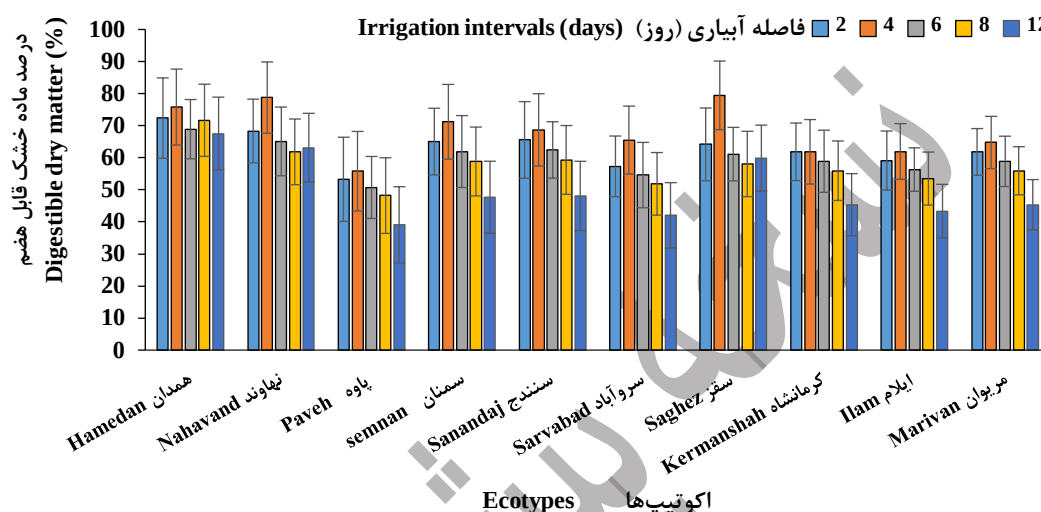
افزایش شدت تنش آبی، قابلیت هضم ماده خشک علوفه را افزایش می‌دهد. به‌طوری که بیشترین مقدار ماده خشک در تنش شدید و تیمار تنش متوسط تفاوت معنی‌داری با شرایط بدون تنش و تنش شدید نشان نداد. این صفت به ترتیب تحت تنش آبی متوسط ۳/۵ درصد و شدید ۷/۲۸ درصد افزایش یافت. بین خاکستر، فیبر خام، فیبر خام در شوینده اسیدی و خنثی با ماده خشک قابل هضم همبستگی منفی وجود دارد. افزایش قابلیت هضم ماده خشک در تنش شدید را می‌توان به همبستگی مثبت آن با محتوای پروتئین خام در همان سطح آبیاری نسبت داد (Allahdadi and Bahreininejad, 2019). در پژوهشی بیشترین قندهای محلول و ماده خشک قابل هضم در آبیاری ۶۰٪ ظرفیت زراعی بود. با افزایش تنش آبی، پروتئین خام و سایر ترکیبات کاهش یافتند و تنش خشکی کیفیت یونجه را افزایش داد (Kharazmi et al., 2020). در این تحقیق درصد ماده خشک قابل هضم در اکوتیپ‌های همدان، سقز و نهاوند در تمام دوره‌های آبیاری از سایر اکوتیپ‌ها بیشتر بوده و علت آن بالابودن درصد پروتئین خام و پایین‌بودن درصد فیبر خام و فیبر خام در شوینده اسیدی و خنثی در این اکوتیپ‌ها است.

درصد فیبر خام

اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر درصد فیبر خام یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ در رژیم آبیاری نشان داد بالاترین درصد فیبر خام (۲۰/۷۷) در دور آبیاری ۱۲ روز در اکوتیپ پاهو و کمترین درصد فیبر خام (۱۰/۶۷) در دور آبیاری ۸ روز در اکوتیپ همدان مشاهده گردید. در تمام اکوتیپ‌ها به‌جز اکوتیپ سروآباد و ایلام درصد فیبر خام در دور آبیاری ۲، ۴، ۶ و ۸ روز از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشتند؛ ولی در دو اکوتیپ مذکور فقط دور آبیاری

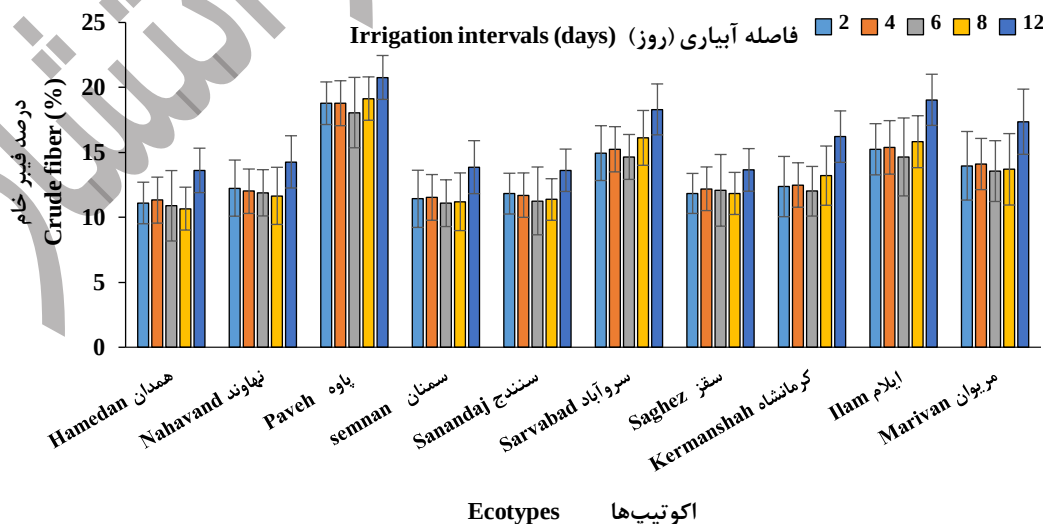
ویژگی کیفی حیاتی یونجه هستند که پروتئین خام نشان‌دهنده ارزش غذایی و فیبر نشان‌دهنده خوش‌خوراکی و کل مواد مغذی قابل‌هضم است. با افزایش درصد فیبر خام از میزان خوش‌خوراکی آن کاسته می‌شود (Al-Dakheel et al., 2015).

۴، ۶ و ۱۲ روز اختلاف معنی‌دار نداشتند. به‌طور کلی دور آبیاری ۱۲ روز نسبت سایر دوره‌های آبیاری افزایش درصد فیبر خام را داشته است. بیشترین درصد افزایش فیبر خام (۲۳/۷۱) مربوط به اکوتیپ کرمانشاه و کمترین درصد آن (۹/۵۶) متعلق به اکوتیپ پاوه بود (شکل ۵). پروتئین خام و فیبر دو



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد ماده خشک قابل‌هضم (میل‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Fig. 4. Mean comparison of interaction of irrigation regime in different crown vetch ecotypes on detergent digestible dry matter percentage (Bars represent mean $\pm$ SE based on three replicates, n = 3)



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد فیبر خام (میل‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=۳) هستند)

Fig. 5. Mean comparison of interaction of irrigation regime in different crown vetch ecotypes on crud fibr percentage (Bars represent mean $\pm$ SE based on three replicates, n = 3)

شدید تا ۱۵۷/۷ گرم در کیلوگرم ماده خشک در شرایط بدون تنش متغیر بود. تیمارهای تنش آبی متوسط و شدید در یک دسته آماری قرار گرفتند. میزان خاکستر به ترتیب ۱۶/۵۵ درصد و ۲۱/۸۱ درصد تحت تنش آبی متوسط و شدید کاهش یافت. خاکستر کل رابطه مثبت و معنی‌داری با فیبر خام، فیبر خام در شوینده اسیدی و خنثی داشت، درحالی‌که همبستگی بین میزان خاکستر و سایر صفات کیفی درصد پروتئین خام و ماده خشک قابل‌هضم منفی و معنی‌دار دارد (Allahdadi and Bahreininejad, 2019). با توجه به این که درصد خاکستر، بیانگر مقدار مواد معدنی در بافت‌های گیاهی است و جذب این مواد توسط ریشه در شرایط خشکی کاهش می‌یابد، در نتیجه کاهش درصد خاکستر علوفه در این شرایط بسیار محتمل است. کاهش درصد خاکستر در شرایط خشکی توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Nakhoda et al., 2000).

به‌طور کلی، میزان خاکستر می‌تواند شاخصی از کل مواد معدنی در گیاه باشد. کاهش میزان خاکستر تحت تنش آبی در مقالات گزارش شده است. در تحقیقی میزان خاکستر در سه محصول علوفه‌ای شامل ذرت، سورگوم و ارزن به طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر تنش آبی کاهش یافت (Haji Hassani Asl et al., 2011). میزان خاکستر هیبریدهای سورگوم-سودان‌گراس در نتیجه تنش آبی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (Bibi et al., 2012). تنش آبی به طور قابل‌توجهی درصد خاکستر را در دو هیبرید ذرت کاهش داد (Shoaei and Rafiei, 2014). پژوهشگران دریافتند که کاهش قابل‌توجهی در میزان خاکستر گیاهان لوبیاچشم‌بلبلی تحت شرایط تنش آبی رخ داده است و اظهار داشتند که این ممکن است به دلیل کاهش دسترسی و جذب مواد مغذی خاک با کاهش محتوای آب خاک یا در نتیجه محدود شدن منبع انرژی (کربوهیدرات‌ها) تأمین شده توسط برگ‌ها تحت‌تأثیر تنش آبی باشد (Khalil et al., 2015).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد که رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورفولوژیک و کیفی علوفه یونجه باغی دارد. در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی، تفاوت‌های قابل‌توجهی در پاسخ به سطوح مختلف رژیم آبیاری مشاهده شد، به‌طوری‌که در سطوح متوسط تنش، برخی صفات مانند وزن خشک اندام‌ها و درصد ماده خشک قابل‌هضم بهبود یافت، اما در تنش

کمترین و بیشترین درصد فیبر خام (۴۲/۳ و ۴۴/۶۲) به ترتیب در مرحله گل‌دهی و بذردهی یونجه باغی در منطقه جواهرده رامسر به‌دست آمد (Erfanzadeh, 2002). در بررسی اثر رژیم‌های آبیاری (مطلوب، کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید) بر ۴ رقم شبدر، بیشترین میانگین فیبر خام (۲۹/۵۵ درصد) به رژیم آبیاری مطلوب و کمترین میانگین فیبر خام در رژیم کم آبیاری شدید (۲۲/۹۷ درصد) مشاهده شد که با سایر رژیم‌های آبیاری، اختلاف معنی‌داری داشت. میزان متوسط فیبر خام رژیم کم آبیاری متوسط (۲۵/۸۸ درصد) نیز بود. اختلاف بین فیبر خام در رژیم آبیاری مطلوب و کم آبیاری متوسط، ۳/۶۷ درصد، اختلاف بین رژیم کم آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید، ۲/۹۱ درصد و اختلاف بین رژیم آبیاری مطلوب و کم آبیاری شدید نیز ۶/۵۸ درصد بود (Nematollahi et al., 2020). پژوهشگران نشان دادند که تنش خشکی، موجب کاهش معنی‌دار فیبر خام در سورگوم علوفه‌ای می‌شود (Karimi et al., 2016).

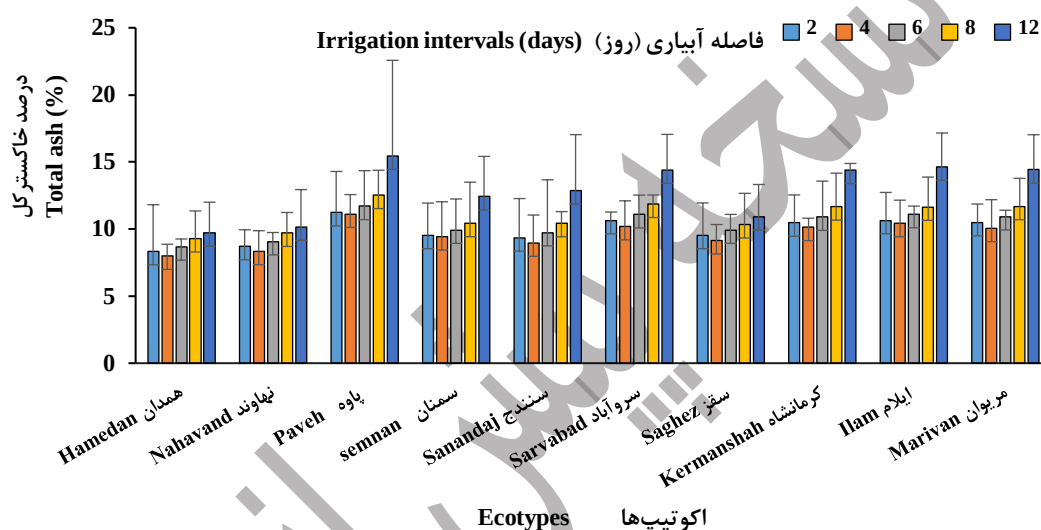
درصد خاکستر کل

اثر اکوتیپ، رژیم آبیاری و اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر درصد خاکستر کل یونجه باغی معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و رژیم آبیاری نشان داد که بالاترین درصد خاکستر کل (۱۵/۴۴) در دور آبیاری ۱۲ روز مربوط به اکوتیپ پاه و کمترین درصد آن (۷/۹۹) در دور آبیاری ۴ روز و مربوط به اکوتیپ همدان بود. با افزایش دور آبیاری در تمام اکوتیپ‌ها میزان درصد خاکستر کل افزایش یافت (شکل ۶). بررسی مقایسه میانگین رژیم‌های آبیاری در ۴ گونه شبدر نشان داد که افزایش تخلیه رطوبت در منطقه ریشه، خاکستر کل را کاهش می‌دهد. بالاترین میزان خاکستر کل (۹/۶۷ درصد) مربوط به رژیم آبیاری مطلوب و کمترین (۷/۲۲ درصد) مربوط به رژیم کم آبیاری شدید بود. رژیم آبیاری متوسط ۸/۶۸ درصد خاکستر کل داشت و بیشترین خاکستر کل (۹/۳۵ درصد) به گونه لاک و کمترین (۷/۹۴ درصد) به گونه برسیم مربوط بود (Nematollahi et al., 2020). در بررسی اثر خشکی، محققین در پژوهش خود گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار درصد خاکستر علوفه سورگوم می‌شود (Karimi et al., 2016).

میزان خاکستر با افزایش شدت تنش آبی کاهش یافت. خاکستر از ۱۲۳/۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک در تنش آبی

و نیمه خشک، از اکوتیپ‌های بومی مقاوم به خشکی مانند نهاوند، همدان و سقز استفاده شود تا ضمن کاهش وابستگی به آبیاری، کیفیت علوفه حفظ شده و پایداری تولید تضمین گردد. همچنین، این اکوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های اصلاحی برای به‌نژادی یونجه‌های مقاوم به خشکی به کار گرفته شوند.

شدید، کاهش معنی‌دار در وزن خشک، ارتفاع اندام‌های هوایی و زیرزمینی و درصد پروتئین خام و افزایش درصد فیبر مشاهده گردید. اکوتیپ‌هایی مانند نهاوند، همدان و سقز توانایی بهتری در حفظ کیفیت علوفه تحت شرایط رژیم آبیاری از خود نشان دادند که این موضوع می‌تواند ناشی از محتوای بالاتر پروتئین خام و ماده خشک قابل هضم و مقادیر کمتر فیبرهای نامحلول باشد. بر اساس نتایج این پژوهش توصیه می‌شود که در برنامه‌های تولید علوفه در مناطق خشک



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اکوتیپ‌های مختلف یونجه باغی بر درصد خاکستر کل (میل‌ها نشان‌دهنده میانگین $\pm$ خطای استاندارد (SE) بر اساس سه تکرار (n=3) هستند)

Fig. 6. Mean comparison of interaction of irrigation regime in different crown vetch ecotypes on total ash percentage (Bars represent mean $\pm$ SE based on three replicates, n = 3)

منابع

- Abebe, H., Tu, Y., 2024. Impact of salt and alkali stress on forage biomass yield, nutritive value, and animal growth performance: A comprehensive review. *Grasses*. 3, 355–368. <https://doi.org/10.3390/grasses3040026>
- Abid, M., Mansour, E., Yahia, L. B., Bachar, K., Ben Khaled, A., Ferchichi, A., 2016. Alfalfa nutritive quality as influenced by drought in South-Eastern Oasis of Tunisia. *Italian Journal of Animal Science*. 15, 334–342. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1175916>
- Abrishami, M., Jalilian, J., Heydarzadeh, S., 2023. The effect of different sources of fertilizer and low-irrigation on forage quality characteristics and yield of sorghum. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54, 1–14. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.5555/20230484437>
- Allahdadi, M., Bahreininejad, B., 2019. Effects of water stress on growth parameters and forage quality of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L., var. *scolymus*). *Iranian Agricultural Research*. [In Persian with English Summary]. 38(2), 101–110. <https://doi.org/10.22099/iar.2020.34908.1364>
- Al-Dakheel, A. J., Hussain, M. I., Rahman, A. Q. M. A., 2015. Impact of irrigation water salinity on agronomical and quality attributes of *Cenchrus ciliaris* L. accessions. *Agricultural*

- Water Management. 159, 148–154.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.014>
- AOAC., 2019. Official methods of analysis (21st ed.). Arlington, VA: AOAC International
- Arzani, H., 2012. Forage quality and daily grazing requirement of livestock from rangelands (2nd ed.). Tehran University Press. [In Persian]
- Baral, R., Min, D., 2023. Irrigation effects on forage dry matter yield and nutritive value of alfalfa. In: Proceedings of the XXV International Grassland Congress (pp. 728–731). Covington, Kentucky, USA.
<https://doi.org/10.52202/071171-0174>
- Bibi, A., Sadaqat, H. A., Tahir, M.H.N., Fatima Usman, B., Ali, M., 2012. Genetic analysis of forage quality traits in sorghum-sudangrass hybrids under water stress. The Journal of Animal and Plant Sciences. 22, 1092–1100
- Bilal, M., Ayub, M., Tariq, M., Tahir, M., Nadeem, M.A., 2017. Dry matter yield and forage quality traits of oat (*Avena sativa* L.) under integrative use of microbial and synthetic source of nitrogen. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 16, 236–241.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.002>
- Cavero, J., Faci, J. M., Medina, E. T., Martínez-Cob, A., 2017. Alfalfa forage production under solid-set sprinkler irrigation in a semiarid climate. Agricultural Water Management. 191, 184–192.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.06.018>
- Diatla, A.A., Min, D., Jagadish, S.K., 2021. Drought stress responses in non-transgenic and transgenic alfalfa—Current status and future research directions. Advances in Agronomy, 170, 35–100.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.06.002>
- Erfanzadeh, R., 2002. Investigation of changes in qualitative indices in two stages of rangeland species phenology. Iranian Journal of Range and Desert Research. 9, 684–694. [In Persian].
<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2001.119904>
- Ezzati, R., Torchi, M., Moghaddam Vahed, M., Roostaei, M., 2024. Effect of drought stress on morphological and biochemical root characteristics and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and promising lines. Iranian Journal of Crop Sciences, 26, 129–147. [In Persian with English Summary].
- Faisal, S., Mujtaba, S.M., Khan, M.A., Mahboob, W.A.J.I.D., 2017. Morpho-physiological assessment of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought stress tolerance at the seedling stage. Pakistan Journal of Botany. 49, 445–452.
[http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/49\(2\)/08.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/49(2)/08.pdf)
- Gheysari, M., Majidi, M.M., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J., Amiri, S., Banifateme, S.M., 2015. The effects of two different deficit irrigation managements on the root length of maize. Journal of Water and Soil, 28, 890–898. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.27891>
- Haji Hassani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Aliabadi Farahani, H., Hosseini, N., Rassaei Far, M., 2011. Three forage yield and its components under water deficit condition on delay cropping in Khoy zone (Iran). Advances in Environmental Biology. 5, 847–852.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1900228>
- Hasan, U.W., Roy, C., Chattopadhyay, T., Ranjan, D., De, N., 2021. Effects of heat and drought stress on yield and physiological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Crop and Weed. 17, 203–210.
<https://doi.org/10.22271/09746315.2021.v17.i1.1425>
- Holman, J., Min, D.H., Klocke, N., Kisekka, I., Currie, R., 2016. Effects of irrigation amount and timing on alfalfa nutritive value. Transactions of the ASABE. 59, 849–860.
<https://doi.org/10.13031/trans.59.11456>
- Huang, D., Ma, M., Wang, Q., Zhang, M., Jing, G., Li, C., Ma, F., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced drought resistance in apple by regulating genes in the MAPK pathway. Plant Physiology and Biochemistry. 149, 245–255.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.020>
- ISTA., 2018. International rules for seed testing (2018 ed.). Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association
- Jafari, A.A., Heydari Sharifabadi, H., Nosrati Neygjah, M., 2003. Comparison of yield, morphological and quality traits of 18 ecotypes/varieties of alfalfa (*Medicago sativa*) under optimum and drought stress conditions. Iranian Journal of Rangeland and Forest Plant Breeding and Genetic Research. 11, 63–103. [In Persian with English Summary].
<https://doi.org/10.22092/ijrfpbgr.2003.115991>

- Jafarian, S., Chaichi, M.R., Moghaddam, H., 2015. Surfactant and limited irrigation effects on forage and seed production and water use efficiency in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of Agricultural Science* 7(9), 56. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n9p56>
- Karimi, R., Hadi, H., Tajbaksh, M., 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. *Journal of Agricultural Science*. 26, 169–187. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56585>
- Kharazmi, K., Amirnia, R., Jalilian, J., Tajbaksh, M., 2020. Effects of drought stress and fertilizer sources on quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Annals of Agri-Bio Research*. 25, 217–221. <https://doi.org/10.5555/20203510162>
- Khalil, Z.M., Salem, A.K., Sultan, F. M., 2015. Water stress tolerance of fodder cowpea as influenced by various added levels of potassium sulphate. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 6, 213–231. <https://dx.doi.org/10.21608/jssae.2015.41989>
- Kuchenmeister, K., Kuchenmeister, F., Kayser, M., 2013. Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. *International Journal of Plant Production*. 7, 615–632. <http://www.ijpp.info>
- Gustine, D.L., Moyer, B.G., 1990. Crownvetch (*Coronilla varia* L.). In: Bajaj, Y.P.S. (Ed.), *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Vol. 10, Legumes and Oilseed Crops I, pp. 341–354. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74448-8_15
- Liu, L., Yu, H., Wang, Y., Liu, Y., Liu, H., Yang, Y., Jia, R., Liu, Y., 2025. The positive effects of appropriate drought stress on alfalfa that saving water while ensuring quality and economic benefits. *Plant Production Science*. 28(2), 139–152. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2025.2463511>
- Liu, Y., Wu, Q., Ge, G., Han, G., Jia, Y., 2018. Influence of drought stress on alfalfa yields and nutritional composition. *BMC Plant Biology*. 18, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1226-9>
- Lopez-Olivari, R., Ortega-Klose, F., 2021. Response of red clover to deficit irrigation: dry matter yield, populations, and irrigation water use efficiency in southern Chile. *Irrigation Science*. 39, 173–189. <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00693-0>
- Molano-Flores, B., 2014. An invasive plant species decreases native plant reproductive success. *Natural Areas Journal*. 34, 465–470. <https://doi.org/10.3375/043.034.0411>
- Momeni, S., Fahmideh, L., Emamjomeh, A., Solouki, M., Zahiri, J., 2021. Effect of drought stress on morphological and physiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*. [In Persian with English Summary]. 15, 61–78.
- Nakhoda, B., Banisadr, N., Hashemi Dezfouli, A., 2000. Water stress effects on forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum* L. var. Nutrifeed). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 31, 701–712. [In Persian with English Summary].
- Nolan, J., 2007. Nutrient requirements of domesticated ruminants. CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1071/9780643095113>
- Nematollahi, D., Eisvand, H. R., Modaers Sanavy, S. A. M., Akbari, N., Ismaili, A., 2020. Effects of low irrigation on yield quantity and quality of clover species under high input management conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 51, 47–57. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010126>
- Oddy, V.U., Robards, G.E., Low, S.G., 1983. Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed. pp. 395–398. In: Robards, G.E., Packham, R.G. (Eds.), *Feed Information and Animal Production*. Proceedings of the second symposium of the International Network of Feed Information Centres. Farnham Royal, Slough [Buckingham]: Commonwealth Agricultural Bureaux, c1983.
- Orloff, S.R., Putnam, D.H., Hanson, B., Carlson, H., 2003. Controlled deficit irrigation of alfalfa: Opportunities and pitfalls. Proceedings of the California Alfalfa Symposium, 18 – 19 December. Monterey, California, USA. UC Cooperative Extension.
- Putnam, D.H., Orloff, S.B., 2014. Forage crops. In: Van Alfen, N.K. (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. 2nd ed., Vol. 3, pp. 381–405. Academic Press, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00142-X>

- Ran, H., Kang, S., Li, F., Du, T., Tong, L., Li, S., Ding, R., Zhang, X., 2018. Parameterization of the AquaCrop model for full and deficit irrigated maize for seed production in arid Northwest China. *Agricultural Water Management*. 203, 438–450. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.030>
- Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., Javadi, H., 2023. Evaluation of morphological traits in the populations of *Coronilla varia* L. *Journal of Rangeland Science*. 13, 52–71. [In Persian with English Summary].
- Samarah, N.H., 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable EDevelopment*, 25, 145–149.
- Sanz-Saez, A., Erice, G., Aguirreolea, J., Muñoz, F., Sanchez-Díaz, M., Irigoyen, J.J., 2012. Alfalfa forage digestibility, quality and yield under future climate change scenarios vary with *Sinorhizobium meliloti* strain. *Journal of Plant Physiology*. 169, 782–788. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.010>
- Shoaei, S., Rafiei, F., 2014. Investigation of superabsorbent polymer and water stress on physiological indexes of maize. *Journal of Advances in Biology*. 4, 455–460. <https://doi.org/10.24297/jab.v4i3.3745>
- Simmons, M., Bertelsen, M., Windhager, S., Zafian, H., 2011. The performance of native and nonnative turf grass monocultures and native turf grass polycultures: An ecological approach to sustainable lawns. *Ecological Engineering*. 37, 1095–1103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.004>
- Staniak, M., Harasim, E., 2018. Changes in nutritive value of alfalfa (*Medicago × varia* T. Martyn) and *Festulolium* (*Festulolium braunii* (K. Richt) A. Camus) under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204, 456–466.
- Tariq, M., Khan, F., Shah, A. H., Fahad, S., Wahid, F., Ali, J., Adnan, M., Ahmad, M., Irfan, M., Zafar-ul-Hye, M., Battaglia, M. L., 2020. Effect of micronutrients foliar supplementation on the production and eminence of plum (*Prunus domestica* L.). *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*. 12, 32–40. <https://doi.org/10.1111/jac.12271>
- Titei, V., 2021. The prospects of cultivation and utilization of *Coronilla varia* L. in Moldova. *Oltenia. Studii si Comunicari. Stiintele Naturii*. 37(2), 46–52.
- Van Soest, P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*. 46, 829–835. <https://doi.org/10.1093/jaoac/46.1.829>
- Wang, J., Baerenklau, K. A., 2014. Crop response functions integrating water, nitrogen, and salinity. *Agricultural Water Management*. 139, 17–30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.009>
- Yerlikaya, S., Baloglu, M. C., Altunoglu, Y. C., Diuzheva, A., Jeko, J., Cziaky, Z., Zengin, G., 2021. Exploring of *Coronilla varia* L. extracts as a source of high-value natural agents: Chemical profiles and biological connections. *South African Journal of Botany*, 143, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.02.025>
- Zhou, H., Kang, S., Li, F., Du, T., Shukla, M. K., Li, X., 2020. Nitrogen application modified the effect of deficit irrigation on tomato transpiration, and water use efficiency in different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 263, 109112. <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2060855>