



## Evaluation of forage quality in *Festuca pratensis* Huds. genotypes under water deficit stress

Sara Sabertanha<sup>1</sup> | Fatemeh Amini<sup>2</sup> | Ali Izadi Darbandi<sup>3</sup> |  
Seyed Ahmad Sadat-Noori<sup>4</sup>

1. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran. E-mail: [sabertanha@ut.ac.ir](mailto:sabertanha@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran. E-mail: [aminif@ut.ac.ir](mailto:aminif@ut.ac.ir)
3. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran. E-mail: [aizady@ut.ac.ir](mailto:aizady@ut.ac.ir)
4. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran. E-mail: [noori@ut.ac.ir](mailto:noori@ut.ac.ir)

| Article Info                                                                                                                                                | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Article type:</b><br>Research Article                                                                                                                    | <b>Objective:</b> To evaluate the forage quality of <i>Festuca pratensis</i> genotypes under water deficit stress and identify drought-tolerant lines that maintain high nutritional value.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Article history:</b><br>Received 21 May 2025<br>Received in revised form 28 August 2025<br>Accepted 21 September 2025<br>Published online 5 January 2026 | <b>Methods:</b> Twenty <i>Festuca pratensis</i> genotypes were obtained from NordGen (Sweden) and the ART Institute (Switzerland). Field experiments were conducted over three consecutive years (2022–2024) at the Research Farm, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran. A split-plot design in time within a randomized complete block design (RCBD) with three replications was used. Two irrigation regimes were imposed after full establishment: normal (100% field capacity) and water deficit (50% field capacity). Sampling occurred at the mid-flowering stage following two years of stress (May 2023 and May 2024). Forage quality, measured traits included acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), cellulose, lignin, nitrogen content, ash, dry matter intake (DMI), in vitro dry matter digestibility (IVDMD), metabolizable energy (ME), and relative feed value (RFV). |
| <b>Keywords:</b><br>Ash<br>Forage Quality<br>Neutral Detergent Fiber<br>Variation                                                                           | <b>Results:</b> The ANOVA showed that drought stress significantly affected all measured traits at $P < 0.01$ . Significant main effects were observed for genotype and harvest, with significant stress $\times$ genotype and genotype $\times$ harvest interactions, and a significant stress $\times$ genotype $\times$ harvest interaction for all traits except cellulose. The stress $\times$ harvest interaction was significant for all traits except ash. Based on mean comparisons, genotypes 2, 13, 14, 15, 16, and 17 exhibited superior performance under drought, characterized by higher crude protein and lower ADF and NDF values, indicating enhanced forage quality under water-limited conditions.                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                                                                                                             | <b>Conclusions:</b> Evaluating forage quality under water deficit is an effective strategy for identifying high-value, drought-tolerant <i>Festuca pratensis</i> genotypes. The selected genotypes demonstrate strong potential for deployment in arid and semi-arid regions. Integrating forage quality indicators with drought-tolerance traits can improve the precision of genotype selection in breeding programs. We recommend long-term, multi-location trials to assess adaptability and stability across diverse environments. The findings may inform water resource management strategies for forage production under comparable climatic conditions.                                                                                                                                                                                                                                                               |

**Cite this article:** Sabertanha, S., Amini, F., Izadi Darbandi, A., & Sadat-Noori, S. A. (2026). Evaluation of forage quality in *Festuca pratensis* Huds. genotypes under water deficit stress. *Journal of Crops Improvement*, 27 (4), 715-735. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.395735.2934>





## ارزیابی کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس (*Festuca pratensis* Huds.) تحت تنش کم آبی

سارا صابر تنها<sup>۱</sup> | فاطمه امینی<sup>۲</sup> | علی ایزدی دربندی<sup>۳</sup> | سید احمد سادات نوری<sup>۴</sup>

۱. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران. رایانامه: [sabertanha@ut.ac.ir](mailto:sabertanha@ut.ac.ir)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران. رایانامه: [aminif@ut.ac.ir](mailto:aminif@ut.ac.ir)
۳. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران. رایانامه: [aizady@ut.ac.ir](mailto:aizady@ut.ac.ir)
۴. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران. رایانامه: [noori@ut.ac.ir](mailto:noori@ut.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

**هدف:** به منظور تعیین کیفیت علوفه در گیاه فستوکا پرتنسیس در شرایط تنش کم آبی، این آزمایش در سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده فناوری کشاورزی دانشگاه تهران اجرا شد.

**روش پژوهش:** بذر ۲۰ ژنوتیپ گونه فستوکا پرتنسیس از بانک ژن NordGen کشور سوئد و مؤسسه ART کشور سوئیس تهیه شد و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با آرایش کرت‌های خرد شده در زمان، در سه تکرار، تحت دو شرایط آبیاری نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) و تنش آبی (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) پس از استقرار گیاه کشت گردید. نمونه برداری در اواسط دوره گلدهی، پس از اعمال تنش به مدت دو سال، در اردیبهشت ماه ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ انجام شد. در این مرحله، صفات مرتبط با کیفیت علوفه نظیر فیبر شوینده اسیدی (ADF)، فیبر شوینده خنثی (NDF)، سلولز، لیگنین، ازت، خاکستر، ماده خشک مصرفی (DMI)، قابلیت هضم ماده خشک (IVDMD)، انرژی متابولیسمی (ME) و ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تنش خشکی برای تمام صفات و همچنین اثرات ساده ژنوتیپ، برداشت، اثرات متقابل دوگانه تنش × ژنوتیپ، برداشت × ژنوتیپ، اثر متقابل سه گانه تنش × ژنوتیپ × برداشت برای تمام صفات به جز سلولز، و نیز اثر متقابل تنش × برداشت برای تمام صفات به جز خاکستر، در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند. براساس مقایسه میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های ۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به عنوان ژنوتیپ‌های برتر از نظر کیفیت علوفه در شرایط تنش خشکی شناسایی شدند، به طوری که دارای میزان پروتئین بالاتر و مقادیر فیبر شوینده اسیدی و خنثی پایین‌تری بودند.

**نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان داد که ارزیابی کیفیت علوفه در شرایط تنش خشکی می‌تواند ابزار مؤثری برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و دارای ارزش غذایی بالا باشد. شناسایی ژنوتیپ‌هایی با پروتئین بالا و فیبر کمتر در شرایط محدودیت آبی، بیانگر ظرفیت بالقوه فستوکا پرتنسیس برای توسعه در مناطق خشک و نیمه خشک است. یافته‌های پژوهش می‌تواند مبنایی برای اصلاح ارقام مقاوم به خشکی با حفظ کیفیت علوفه در برنامه‌های به نژادی آینده باشد. ادامه ارزیابی پایداری این ژنوتیپ‌ها در مناطق مختلف اکولوژیکی و در سال‌های متفاوت، گامی مهم در راستای بهینه‌سازی تولید علوفه در شرایط تنش آبی خواهد بود. همچنین، استفاده از شاخص‌های کیفیت علوفه در کنار ویژگی‌های مقاومت به تنش می‌تواند موجب بهبود دقت انتخاب در برنامه‌های اصلاحی گردد. نتایج می‌تواند به تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب در سامانه‌های تولید علوفه در شرایط اقلیمی مشابه کمک نماید.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

### کلیدواژه‌ها:

تنوع

خاکستر

فیبر شوینده اسیدی

کیفیت علوفه

**استناد:** صابر تنها، سارا؛ امینی، فاطمه؛ ایزدی دربندی، علی و سادات نوری، سید احمد (۱۴۰۴). ارزیابی کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس (*Festuca pratensis* Huds.) تحت تنش کم آبی. به زراعی کشاورزی، ۲۷ (۴)، ۷۱۵-۷۳۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.395735.2934>



## ۱. مقدمه

گیاهان در دوره رشد در معرض تنش‌های محیطی مختلف قرار می‌گیرند که تنش خشکی تأثیر بیش‌تری بر روی گیاهان دارد. حدود ۹۵-۸۰ درصد زیست‌توده گیاه از آب تشکیل شده است که نقش اساسی در فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد، نمو و متابولیسم دارد (سلیمان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). دو فرایند خیلی مهم که می‌توانند تغییرات در صفات اقتصادی برگ و همبستگی آن‌ها را توضیح دهند، انعطاف‌پذیری فنوتیپی و تنوع ژنتیکی درون‌گونه‌ای هستند (هکمن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۵؛ وستربند<sup>۳</sup>، فانک<sup>۴</sup> و بارتون<sup>۵</sup>، ۲۰۲۱). انعطاف‌پذیری فنوتیپی، توانایی یک ژنوتیپ برای تولید فنوتیپ‌های مختلف در پاسخ به شرایط محیطی متغیر است که این انعطاف‌پذیری می‌تواند فعال باشد که ناشی از پاسخ‌های متابولیکی یا فیزیولوژیکی به شرایط محیطی باشد و یا غیرفعال باشد که ناشی از پاسخ‌های استرس یا همبستگی ژنتیکی با سایر فرایندهای بیولوژیکی است و می‌تواند سازگاری را افزایش یا کاهش دهد سرعت و قدرت پاسخ‌های انعطاف‌پذیری می‌تواند در بین صفات و همراه با منابع مختلف مانند آب، نور، مواد مغذی متفاوت باشد که ممکن است باعث تغییر یا شکست همبستگی بین صفات شود (هکمن و همکاران، ۲۰۲۵). گیاهان به‌دلیل ماهیت استقرار در مزرعه و عدم جابه‌جایی با تنش‌های غیرزیستی مواجه می‌شوند و خشکی یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم در سراسر جهان می‌باشد. براساس گزارش پنل بین دولتی تغییرات آب و هوایی پیش‌بینی می‌شود به‌دلیل افزایش سطح دی‌اکسیدکربن در جو، دما تا سال ۲۰۴۰ حداقل ۱/۵ درجه افزایش یابد (دیو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۵). خشک‌سالی دوره‌ای بیش از نیمی از سطح زمین را تحت تأثیر قرار داده است که می‌تواند برای رشد گراس‌های فصل سرما در مناطق مختلف به‌عنوان یک عامل محدودکننده اصلی عمل کنند. تنش خشکی در محیط‌های شهری توسط فاکتورهای منفی خاک و دماهای بالا افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به دسترسی کم‌تر در تأمین آب موردنیاز، اغلب با کاهش کیفیت چمن و عملکرد علوفه مواجه خواهیم شد. با توجه به این موضوع، شناسایی و غربال گراس‌ها برای بهبود ژنتیکی تحمل به تنش خشکی و کاهش مصرف آب یک راه‌کار مطلوب جهت عبور از این بحران می‌باشد (وانگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). هدف از انجام این پژوهش یافتن ژنوتیپ‌های سازگار با محیط و شرایط تنش کم‌آبی، دارای ارزش تغذیه‌ای و کیفیت علوفه بالاتر بود تا بتوان در برنامه‌های اصلاحی آینده مورد استفاده قرار گیرند.

## ۲. پیشینه پژوهش

باتوجه به تغییر اقلیم جهانی، شدت و فراوانی خشک‌سالی افزایش یافته و در دهه‌های آینده در مناطق مستعد خشک‌سالی وضعیت سخت‌تری مشاهده خواهد شد. ترکیب جامعه گیاهی و عملکرد طبیعی اکوسیستم تحت تأثیر کمبود یا نبود دسترسی به آب در مناطق خشک تغییر می‌یابد. خشک‌سالی می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری کشاورزی، توسعه و بقا شود (فاریازوسکا<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۰).

تغییرات آب‌وهوایی به‌طور مستقیم و در دسترس بودن مواد مغذی به‌طور غیرمستقیم بر تولید علوفه و محصول تأثیر

1. Seleiman
2. Heckman
3. Westerband
4. Funk
5. Barton
6. Du
7. Wang
8. Fariaszewska

می‌گذارند و منجر به تنوع عملکرد و تغییر کیفیت علوفه می‌شوند. تولیدات دامی نیز به چرا یا استفاده از علوفه تازه وابسته هستند و تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار می‌گیرند (گران<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

کیفیت علوفه توسط سه جز اصلی دیواره سلولی یعنی سلولز، همی سلولز و لیگنین تعیین می‌شود که تا حد زیادی در مصرف علوفه و قابلیت هضم نقش دارند. محدودیت دسترسی به علوفه با کیفیت بالا می‌تواند در دام باعث نرخ رشد کندتر، کاهش باروری و تولید شیر کمتر شود (دادوال<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۵). ویژگی‌های تغذیه‌ای اساسی مانند پروتئین خام، ترکیب فیبر، قابلیت هضم و تجمع مواد معدنی بر علوفه تأثیر می‌گذارد و این ویژگی‌ها تحت تأثیر ژنوتیپ، زمان برداشت و شرایط محیطی قرار می‌گیرند. دمای بالا و کاهش دسترسی آب موردنیاز باعث افزایش رسوب لیگنین و کاهش قابلیت هضم می‌شود. علاوه بر این، برهمکنش ژنوتیپ با محیط به‌طور قابل‌توجهی بر علوفه تأثیر می‌گذارد و نیاز به انتخاب ژنوتیپ‌های هدفمند براساس شرایط اکروکولوژی ضروری می‌باشد (کویی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۵). برگ‌ها به‌عنوان معیار تغذیه‌ای مهم معمولاً به‌عنوان معیاری برای بهره‌وری علوفه مورداستفاده قرار می‌گیرند. تعادل بین عملکرد بالا و ارزش غذایی زیاد از اهداف اصلی در کشت گیاهان علوفه‌ای است (هکل<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱؛ کمران<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۲؛ شی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۴).

پروتئین خام اولین شاخص تغذیه برای ارزیابی کیفیت محسوب می‌شود و افزایش پروتئین خام به بهبود عملکرد و کیفیت محصولات لبنی کمک می‌کند (شی و همکاران، ۲۰۲۴). از طرفی محتوای فیبر بالاتر مانند فیبر شوینده اسیدی (ADF)<sup>۷</sup> و فیبر شوینده خنثی (NDF)<sup>۸</sup> کیفیت علوفه را کاهش می‌دهند (شی و همکاران، ۲۰۲۴؛ مائو<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). در شرایط تنش خشکی کاهش محتوای فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی در شبدر سفید، فستولویوم، چاودار چند ساله، چاودار ایتالیایی و فستوکا پرتسپیس در شرایط تنش خشکی نیز مشاهده شد (فاریازوسکا و همکاران، ۲۰۱۷). در پژوهش گلخانه‌ای پس از یک دوره طولانی تنش خشکی، گراس‌های علوفه‌ای دیرتر به بلوغ رسیدند و در نتیجه غلظت پروتئین افزایش و غلظت فیبر خام کاهش یافت و همچنین کاهش عملکرد نسبت به شاهد مشاهده کردند (استنیک<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۶). این نتایج معمولاً ثابت نیستند در دیگر آزمایش‌ها نتایج متفاوتی نیز مشاهده شده است. در پژوهشی دیگر، بین شرایط تنش خشکی و شاهد هیچ اختلاف معنی‌داری بر روی کیفیت‌های غذایی از جمله پروتئین مشاهده نشد (کوچنمیستر<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). برخی از مطالعات نیز کاهش کیفیت علوفه را از طریق کاهش غلظت پروتئین خام و کربوهیدرات‌های غیر ساختاری به‌دلیل افزایش انتقال نیتروژن و کربوهیدرات‌های محلول از برگ به ریشه‌ها گزارش کردند (دیورند<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰).

تنوع ژنتیکی درون‌گونه‌ای یک عامل مهم است که جداکردن آن از اثرات محیطی در محیط‌های طبیعی دشوار است (هکمن<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۵؛ پرز-هاگندگای<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین برای تقسیم تنوع در صفات بین منابع

1. Grant
2. Daduwal
3. Cui
4. Hakl
5. Kamran
6. Shi
7. Acid Detergent Fiber
8. Neutral Detergent Fiber
9. Mao
10. Staniak
11. Küchenmeister
12. Durand
13. Heckman
14. Pérez-Harguindeguy

ژنتیکی و محیطی، ژنوتیپ‌های متنوعی را می‌توان در آزمایش‌های متفاوت در محیط‌های متفاوت رشد داد (هکمن و همکاران، ۲۰۲۵؛ اکسپوزیتو-آلونسو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از بهترین راه‌کارها برای جلوگیری از اثرات نامطلوب تنش آبی، انتخاب گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مقاوم است (فاریازوسکا و همکاران، ۲۰۲۰).

فستوکا پرتنسیس<sup>۲</sup> گیاهی علفی و چند ساله است. یکی از مهمترین محصولات علوفه‌ای در سراسر جهان به‌ویژه مناطق معتدله است. این گونه متعلق به جنس فستوکا<sup>۳</sup> و دیپلوئید (2n=24) است که دگرگشتن و دارای برگ‌های سبز روشن و ریز می‌باشد. این گیاه علفی به‌دلیل کیفیت برتر به‌عنوان علوفه، برای انواع خاک مناسب می‌باشد و به‌دلیل پایداری و زنده‌مانی در زمستان موردتوجه قرار گرفته است (سامی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). هم‌چنین به‌دلیل قابلیت هضم خوب و خوشخوراکی، در اکثر مخلوط‌های علزار و مرتعی به‌عنوان یک جزء ارزشمند می‌باشد. ارزش علوفه‌ای این گیاه نسبت به سایر علف‌های چندساله بیش‌تر است (توماس<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). از جمله عوامل افزایش علاقه به این گیاه، سطح بالای تحمل به تنش و توانایی در هیبریداسیون با چچم چندساله<sup>۶</sup> و چچم ایتالیایی<sup>۷</sup> می‌باشد (توماس و همکاران، ۲۰۲۱).

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده فناوری کشاورزی دانشگاه تهران انجام شد. این مزرعه در پاکدشت تهران، ایران با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی، ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۱۰۴۷ متر ارتفاع از سطح دریا واقع شده است. پاکدشت جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. در فصول پاییز و زمستان میزان بارندگی اغلب به‌طور متوسط سالانه ۱۷۰ میلی‌متر است. دمای متوسط سالیانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد است (حسینی‌فرد و همکاران، ۱۴۰۱). تبخیر و تعرق در این منطقه بیش از بارندگی است. قبل از کشت به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از پنج قسمت زمین نمونه‌برداری تا عمق ۳۰ سانتی‌متری از خاک انجام شد. سپس به‌منظور جداسازی کلوخه‌ها، خاک الک شد و برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌ها در آزمایشگاه موردارزیابی قرار گرفتند. نتایج مشخصات خاک در جدول (۱) ارائه شده است. خاک محل آزمایش، سیلتی لومی، pH برابر ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جدول ۱. مشخصات خاک محل آزمایش

| عمق نمونه | اسیدیته (دسی‌زیمنس بر متر) | پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) | نیترژن (درصد) | کربن آلی (درصد) | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | بافت خاک   |
|-----------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| ۰-۳۰      | ۸/۷                        | ۲/۵                          | ۳۳۵                        | ۷/۶           | ۰/۰۸            | ۲۷        | ۴۴          | ۲۹        | سیلتی لومی |

بذور ۲۰ ژنوتیپ گونه فستوکا پرتنسیس (جدول ۲) از پنج منطقه جغرافیایی متفاوت از بانک ژن نورد ژن<sup>۸</sup> کشور سوئد و مؤسسه آرت<sup>۹</sup> کشور سوئیس تهیه شد. در آبان‌ماه ۱۴۰۱ بذرها در گلدان‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۳ در گلخانه کشت شدند. خاک

1. Exposito-Alonso

2. *Festuca pratensis* Huds.

3. *Festuca*

4. Samy

5. Tomasz

6. *Lolium perenne* L.

7. *Lolium multiflorum* Lam L.

8. Nord Gene

9. ART (Agroscope Reckenholz Tanicon)

مورد استفاده به نسبت‌های مساوی ماسه، خاک برگ، کود حیوانی و خاک مزرعه بود. پس از جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در اسفندماه نشاها به مزرعه منتقل و در دو محیط جداگانه در قالب طرح بلوک کامل در سه تکرار برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش آبی کشت شدند. پس از استقرار گیاه، تنش آبی با ۵۰ درصد ظرفیت خاک در محیط تنش اعمال شد. فواصل آبیاری در طول فصل رشد بسته به شرایط آب‌وهوایی از ۳ تا ۶ روز متغیر بود. در اواسط دوره گلدهی ۴۵ روز پس از اعمال تنش در اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۲ و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳ نمونه‌برداری انجام شد. از هر تکرار پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و برگ‌های هر بوته برداشت شد و با یکدیگر مخلوط شدند و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۵۵ درجه قرار گرفتند و پس از خشک‌شدن، نمونه‌ها آسیاب شدند و برای بررسی کیفیت علوفه مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲. مشخصات و منشأ ژنوتیپ‌های گونه فستوکا پرتنسیس

| کد ژنوتیپ‌ها | پیوست    | نام                    | منشأ    | جوانه‌زنی (درصد) |
|--------------|----------|------------------------|---------|------------------|
| P1           | FP1      | PaRaDisiac             | سوئیس   | ۷۵               |
| P2           | FP2      | PRADEL                 | سوئیس   | ۸۰               |
| P3           | FP3      | PREVAL                 | سوئیس   | ۸۰               |
| P4           | FP4      | PARDUS                 | سوئیس   | ۵۴               |
| P5           | NGB4097  | BALDER                 | دانمارک | ۵۴               |
| P6           | NGB4121  | ARVAØTOFTE             | دانمارک | ۹۸               |
| P7           | NGB6634  | 02 10 73               | نروژ    | ۹۴               |
| P8           | NGB14158 | HUNVE                  | نروژ    | ۸۰               |
| P9           | NGB24118 | Antti                  | فنلاند  | ۹۵               |
| P10          | NGB14159 | LAURA                  | دانمارک | ۴۴               |
| P11          | NGB1535  | Eskelhem TI10102       | سوئد    | ۴۰               |
| P12          | NGB6638  | 02 11 02               | نروژ    | ۹۰               |
| P13          | NGB7543  | 02-5-44-5.1            | نروژ    | ۸۰               |
| P14          | NGB7542  | 02-5-44-4              | نروژ    | ۹۴               |
| P15          | NGB1191  | GRÅNGESBERG GB0303     | سوئد    | ۸۰               |
| P16          | NGB15634 | Fallet 0202            | نروژ    | ۹۲               |
| P17          | NGB2766  | BORIS                  | سوئد    | ۸۰               |
| P18          | NGB1679  | ELVINØTOFTE            | دانمارک | ۴۴               |
| P19          | NGB20372 | Haikionamaki           | فنلاند  | ۸۰               |
| P20          | NGB7168  | HAMMERFALL (02-2-14-1) | نروژ    | ۹۲               |

تنش آبی زمانی اعمال شد که ۵۰ درصد از کل آب موجود در خاک از ناحیه ریشه خارج شد. تنش آبی با شروع مرحله ساقه‌دهی انجام شد. مقدار آب مصرفی در واحد رطوبت ثابت بود و براساس میانگین حجمی آب خاک محاسبه شد. رطوبت خاک با روش وزن‌سنجی استاندارد در اعماق ۰-۳۰ سانتی‌متر با استفاده از روش کارتر<sup>۱</sup> و گرگوریچ<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) اندازه‌گیری شد. عمق آبیاری با استفاده از رابطه (۱) ارائه‌شده محاسبه شد:

$$I = [(\theta_{FC} - \text{Girri}) / 100] \times D \times B \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، I عمق آبیاری (سانتی‌متر)،  $\theta_{FC}$  درصد رطوبت ثقلی خاک در ظرفیت مزرعه، Girri درصد رطوبت خاک در زمان آبیاری، D عمق ناحیه ریشه (۳۰ سانتی‌متر) و B تراکم خاک منطقه (۱/۴ سانتی‌متر بر مترمربع) است. میزان حجم آب مصرفی برای شرایط رطوبتی برابر با حاصلضرب عمق آبیاری در سطح کرت بود. آبیاری مزرعه به‌وسیله سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد.

1. Carter
2. Gregorich

### ۱.۳. بررسی کیفیت علوفه

#### ۱.۱.۳. فیبر شوینده اسیدی

میزان فیبر شوینده اسیدی با استفاده از روش گورینگ<sup>۱</sup> (۱۹۷۵)، ون سوئست<sup>۲</sup> و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شد.

#### ۲.۱.۳. سلولز و لیگنین

سلولز و لیگنین با روش ون سوئست، رابرتسون و لوئیس (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شدند. لیگنین با حل کردن سلولز با اسیدسولفوریک ۷۲ درصد در باقیمانده فیبر شوینده اسیدی به دست آمد. سلولز به عنوان تفاوت بین فیبر شوینده اسیدی و لیگنین در آنالیز تخمین زده شد.

#### ۳.۱.۳. فیبر شوینده خنثی

میزان فیبر شوینده خنثی طبق روش ون سوئست و همکاران (۱۹۹۱) تخمین زده شد.

#### ۴.۱.۳. درصد خاکستر

میزان درصد خاکستر (ASH)<sup>۵</sup> کل طبق پروتکل AOAC 942.05 با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد (تیکس<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲).

#### ۵.۱.۳. پروتئین خام و نیتروژن

اندازه‌گیری میزان پروتئین خام (CP)<sup>۴</sup> و نیتروژن (N)<sup>۵</sup> طبق پروتکل AOAC 991.05 با کمی تغییرات انجام شد (تیکس و همکاران، ۲۰۰۲).

صفات مقدار ماده خشک مصرفی، قابلیت هضم علوفه، انرژی نسبی تغذیه‌ای و انرژی متابولیسمی طبق رابطه‌های (۲) تا (۵) برآورده شد.

رابطه (۲) مقدار ماده خشک مصرفی (DMI)<sup>۶</sup>

(روشنک<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۶)

$$DMI (\%) = 120 / \%NDF$$

رابطه (۳) قابلیت هضم علوفه (DDM)<sup>۸</sup>

(امیری<sup>۹</sup>، ۲۰۱۰؛ بیفن<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۹)

$$DDM (\%) = 83.58 - 0.824 (\% ADF) + 2.62 (\%N)$$

1. Goering Van
2. Van Soest
3. Thiex
4. CP
5. N
6. DMI
7. Rushing
8. Digestible Dry Matter
9. Amiri
10. Biffin

رابطه ۴) انرژی نسبی تغذیه‌ای (RFV)<sup>۱</sup>

$$RVF (\%) = (\%DDM) \times (\%DMI) / 1.29 \quad (\text{روشنک و همکاران، ۲۰۱۶})$$

رابطه ۵) انرژی متابولیسمی (ME)<sup>۲</sup>

$$ME (Mg / Kg DM) = 0.17 (\% DDM) - 2 \quad (\text{امیری، ۲۰۱۰؛ بیفن و همکاران، ۲۰۱۹})$$

### ۳.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس با استفاده از تجزیه مرکب طرح اسپلیت پلات در زمان با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹) انجام شد. مقایسه میانگین صفات با آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار SAS انجام شد. تجزیه کلاستر با استفاده از نرم‌افزار آنلاین heatmap بر روی سایت <http://www.heatmapper.ca> انجام شد. همبستگی صفات کیفیت علوفه با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۴/۵) انجام شد.

### ۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت نشان داد اثر ساده تنش برای تمام صفات و اثرات ساده ژنوتیپ و برداشت برای تمام صفات به‌جز سلولز در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۳). همچنین اثرات متقابل دوگانه تنش × برداشت برای تمام صفات به‌جز خاکستر و اثرات متقابل دوگانه تنش × ژنوتیپ، برداشت و اثرات متقابل سه گانه تنش × ژنوتیپ × برداشت برای تمام صفات به‌جز سلولز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

| منبع تغییرات          | درجه آزادی | فیبر شونده اسیدی | سلولز  | لیگنین   | فیبر شونده خشی | ازت     |
|-----------------------|------------|------------------|--------|----------|----------------|---------|
| تکرار                 | ۲          | ۰/۲۷**           | ۰/۰۷** | ۰/۰۱ns   | ۰/۰۱ns         | ۰/۱۸*   |
| تنش                   | ۱          | ۶۷۱/۹۱**         | ۰/۱۶** | ۶۲۷/۸۷** | ۸۲۳/۳۴**       | ۱۲/۵۱** |
| تکرار (تنش)           | ۲          | ۰/۰۰ns           | ۰/۰۱ns | ۰/۰۱ns   | ۰/۲۵ns         | ۰/۰۳ns  |
| ژنوتیپ                | ۱۹         | ۵۷/۹۲**          | ۰/۰۰ns | ۵۷/۶۸**  | ۷۲/۲۹**        | ۱/۴۹**  |
| ژنوتیپ × تنش          | ۱۹         | ۳۱/۰۳**          | ۰/۰۰ns | ۳۲/۵۳**  | ۲۵/۲۸**        | ۰/۰۸**  |
| تکرار × ژنوتیپ        | ۳۸         | ۰/۰۷ns           | ۰/۰۱ns | ۰/۰۴ns   | ۰/۰۷ns         | ۰/۰۳ns  |
| برداشت                | ۱          | ۴۳/۰۰**          | ۰/۰۲ns | ۴۱/۱۶**  | ۲۵/۴۶**        | ۴/۴۲**  |
| تنش × برداشت          | ۱          | ۲۶/۸۰**          | ۰/۱۰** | ۲۵/۴۲**  | ۳/۸۶**         | ۵/۵۶**  |
| ژنوتیپ × برداشت       | ۱۹         | ۲/۵۴**           | ۰/۰۳ns | ۲/۴۰**   | ۲/۲۴**         | ۰/۱۲**  |
| تنش × ژنوتیپ × برداشت | ۱۹         | ۲/۱۱**           | ۰/۰۳ns | ۲/۲۷**   | ۱/۳۲**         | ۰/۱۲**  |
| خطا                   |            | ۰/۰۵             | ۰/۰۱   | ۰/۰۳     | ۰/۰۹           | ۰/۰۴    |
| ضریب تغییرات (درصد)   |            | ۰/۷۶             | ۱/۹۳   | ۰/۵۹     | ۰/۵۵           | ۸/۵۴    |

ns و \*\*: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

1. Relative Feed Value
2. Metabolizable Energy

ادامه جدول ۳. تجزیه واریانس صفات کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

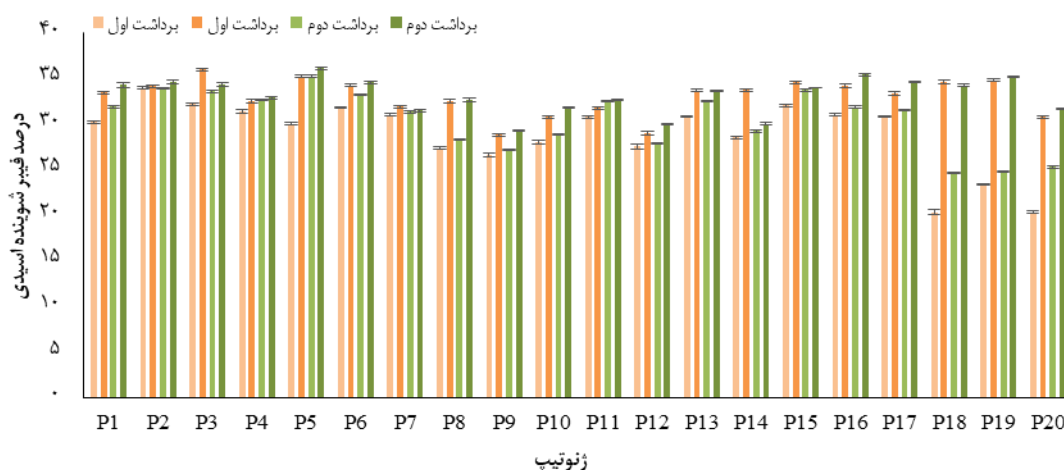
| منبع تغییرات          | درجه آزادی | پروتئین خام | خاکستر   | مقدار ماده خشک مصرفی | قابلیت هضم علوفه | انرژی نسبی تغذیه‌ای | انرژی متابولیکی |
|-----------------------|------------|-------------|----------|----------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| تکرار                 | ۲          | ۷/۱۳*       | ۳/۰۰**   | ۰/۰۰ ns              | ۰/۶۱ ns          | ۱/۳۱ ns             | ۰/۰۱ ns         |
| تنش                   | ۱          | ۴۸۸/۹۷**    | ۳۳۴/۸۱** | ۱/۲۸**               | ۱۴۶/۱۶**         | ۶۰۹۶/۳۰**           | ۴/۲۲**          |
| تکرار (تنش)           | ۲          | ۱/۴۲ ns     | ۱/۲۱**   | ۰/۰۰ ns              | ۰/۲۶ ns          | ۱/۶۳ ns             | ۰/۰۰ ns         |
| ژنوتیپ                | ۱۹         | ۵۸/۲۲**     | ۲۱/۷۶**  | ۰/۱۲**               | ۷۸/۹۸**          | ۸۵۶/۲۵**            | ۲/۲۸**          |
| ژنوتیپ × تنش          | ۱۹         | ۳/۴۷**      | ۱۲/۲۷**  | ۰/۰۴**               | ۲۴/۲۹**          | ۲۵۵/۰۳**            | ۰/۷۰**          |
| تکرار × ژنوتیپ        | ۳۸         | ۱/۲۰ ns     | ۰/۲۵ ns  | ۰/۰۰ ns              | ۰/۲۸ ns          | ۱/۲۲ ns             | ۰/۰۰ ns         |
| برداشت                | ۱          | ۱۷۲/۷۵**    | ۸/۵۴**   | ۰/۰۴**               | ۱۱۹/۱۰**         | ۸۵۸/۸۸**            | ۳/۴۴**          |
| تنش × برداشت          | ۱          | ۲۱۷/۵۱**    | ۰/۳۰ ns  | ۰/۰۰**               | ۱۰۹/۱۶**         | ۵۱۱/۷۰**            | ۳/۱۵**          |
| ژنوتیپ × برداشت       | ۱۹         | ۴/۸۰**      | ۰/۹۷**   | ۰/۰۰**               | ۲/۷۷**           | ۱۹/۵۸**             | ۰/۰۸**          |
| تنش × ژنوتیپ × برداشت | ۱۹         | ۵/۰۱**      | ۱/۰۴**   | ۰/۰۰**               | ۲/۹۸**           | ۱۵/۱۴**             | ۰/۰۸**          |
| خطا                   | ۱/۶۶       | ۱/۶۶        | ۰/۱۷     | ۰/۲۶                 | ۰/۲۹             | ۱/۱۳                | ۰/۰۰            |
| ضریب تغییرات (درصد)   | ۸/۵۴       | ۲/۸۷        | ۱/۵۶     | ۰/۸۵                 | ۰/۹۹             | ۱/۰۴                | ۱/۰۴            |

ns و \*\*: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

#### ۱.۴. مقایسه میانگین صفات ارزیابی شده

##### ۱.۴.۱. فیبر شوینده اسیدی

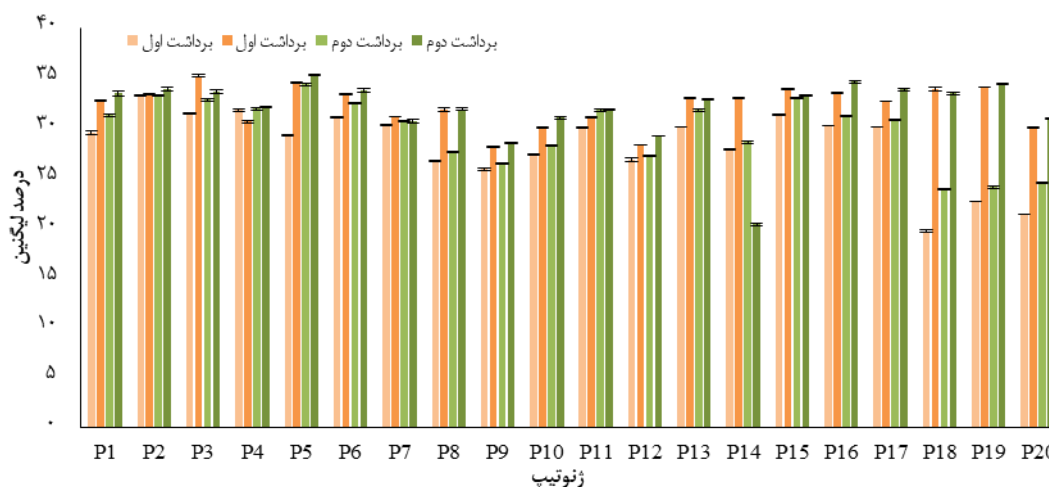
نتایج مقایسه میانگین کیفیت علوفه برای صفت فیبر شوینده اسیدی نشان داد (شکل ۱). ژنوتیپ‌های ۲، ۴ و ۷ در شرایط نرمال و تنش در دو برداشت تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۸، ۹، ۱۶، ۱۴، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در برداشت اول و ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ در برداشت دوم در شرایط تنش نسبت به نرمال میانگین بالاتری نشان دادند.



شکل ۱. مقایسه میانگین صفت فیبر شوینده اسیدی ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

##### ۲.۱.۴. لیگنین

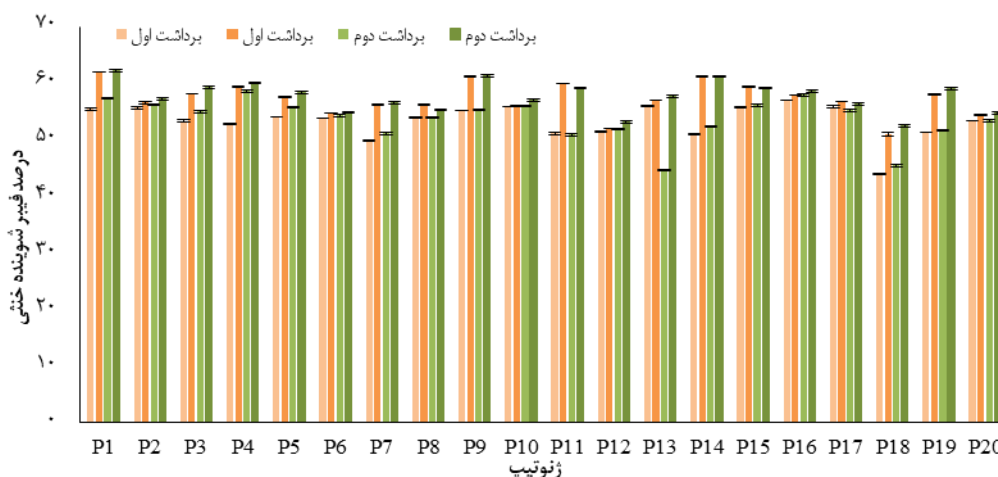
نتایج مقایسه میانگین صفت لیگنین در ژنوتیپ‌های ۲ و ۷ در شرایط نرمال و تنش تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، در دو برداشت داشتند (شکل ۲). اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط افزایش داشتند اما ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ در دو برداشت در شرایط تنش میانگین بالا و معنی‌داری نسبت به شرایط نرمال داشتند.



شکل ۲. مقایسه میانگین صفت لیگنین ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۳.۱.۴. فیبر شوینده خنثی

نتایج مقایسه میانگین برای فیبر شوینده خنثی نشان داد (شکل ۳) ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۴، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۹ در شرایط تنش در دو برداشت میانگین بالاتری داشتند. تفاوت میانگین ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۲۰ در شرایط نرمال و تنش در دو برداشت از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۳). در شرایط تنش خشکی متوسط، کاهش فیبر شوینده خنثی در تیموتی و علف باغ نیز مشاهده شد که می‌تواند مربوط به سرکوب فعالیت آنزیم‌های مسئول تولید فیبر باشد (شیفر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۲).

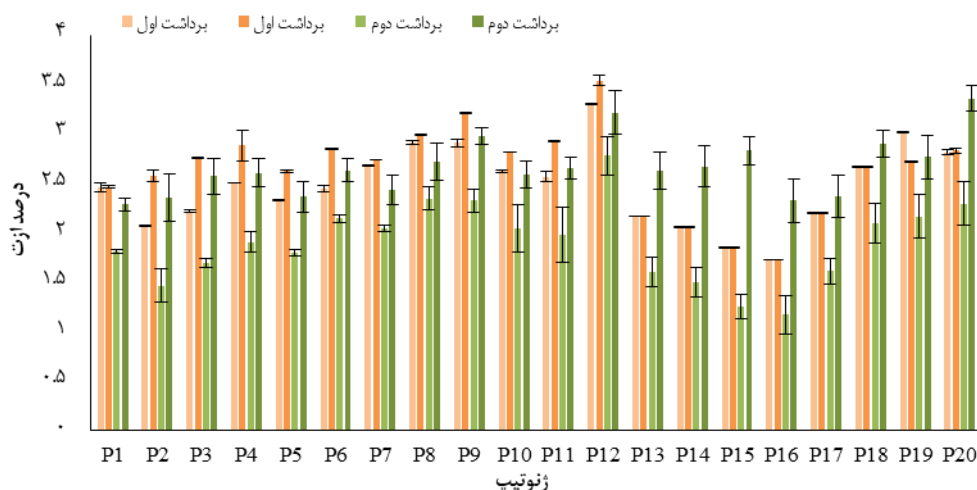


شکل ۳. مقایسه میانگین صفت فیبر شوینده خنثی ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

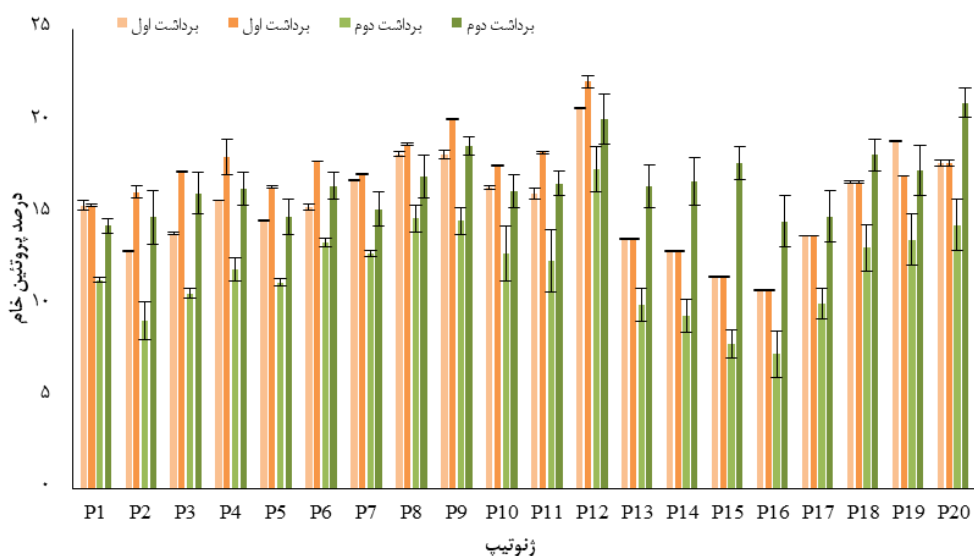
#### ۴.۱.۴. ازلت و پروتئین خام

نتایج مقایسه میانگین صفات ازلت و پروتئین خام نشان دادند (شکل‌های ۴ و ۵) میزان ازلت و پروتئین خام در ژنوتیپ‌ها

متغیر است، به طوری که میزان ازت و پروتئین خام در برخی از ژنوتیپ‌ها در برداشت اول و در برخی دیگر از ژنوتیپ‌ها در برداشت دوم در شرایط تنش افزایش داشت. در برداشت دوم میزان ازت و پروتئین خام در ژنوتیپ‌های ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۲۰ میانگین بالاتری و معنی‌داری نسبت به شرایط نرمال و برداشت اول نشان دادند.



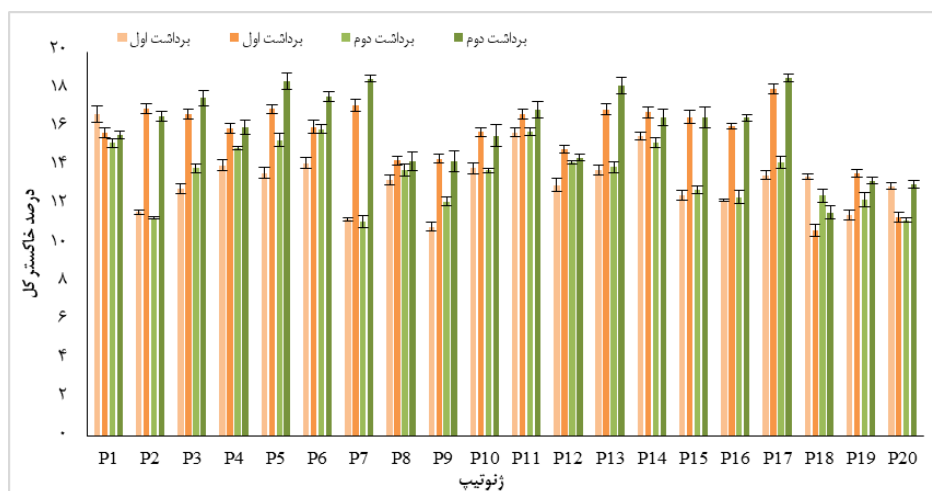
شکل ۴. مقایسه میانگین صفت ازت ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت



شکل ۵. مقایسه میانگین صفت پروتئین خام ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۵.۱.۴. خاکستر کل

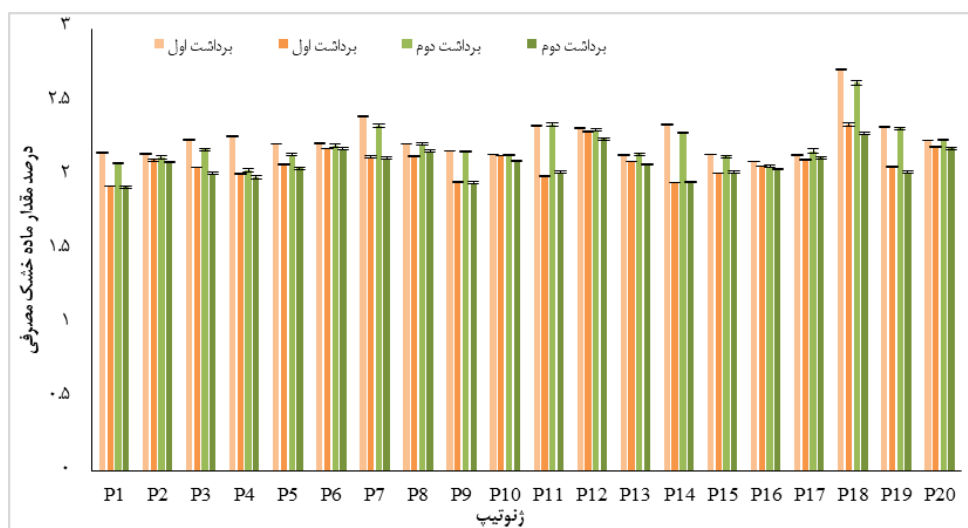
نتایج مقایسه میانگین صفت خاکستر کل نشان داد (شکل ۶) در برداشت اول ژنوتیپ‌های ۲، ۳، ۵، ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۷ در شرایط نرمال میانگین بالاتری نشان داد. ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۶، ۷، ۱۳ و ۱۷ در برداشت دوم در شرایط تنش نسبت به نرمال میانگین بالاتری نشان دادند.



شکل ۶. مقایسه میانگین صفت خاکستر ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۶.۱.۴. مقدار ماده خشک مصرفی

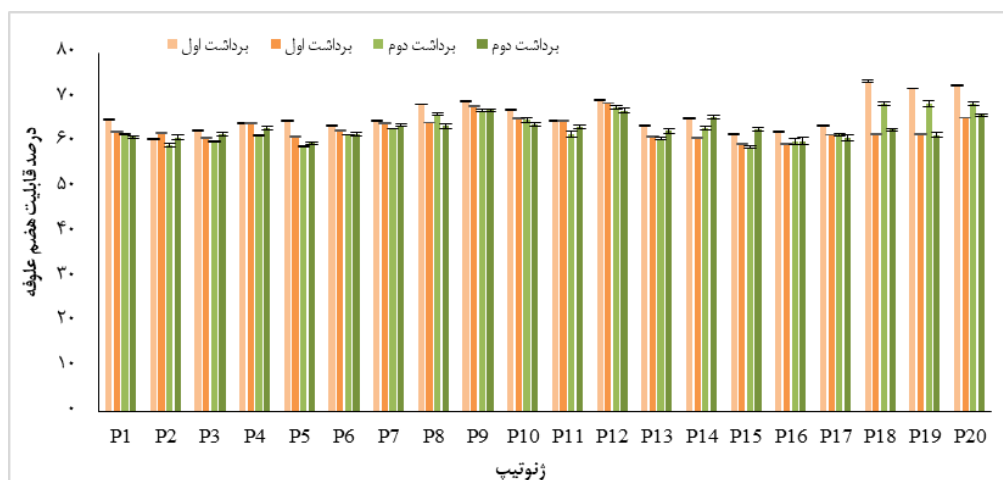
نتایج مقایسه میانگین صفت مقدار ماده خشک مصرفی نشان داد (شکل ۷) بین ژنوتیپ‌های ۲، ۶، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۲۰ در شرایط نرمال و تنش تفاوت جزئی مشاهده شد. ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۸ و ۱۹ در شرایط نرمال در دو برداشت متوالی میانگین بالاتری نشان دادند (شکل ۷).



شکل ۷. مقایسه میانگین صفت مقدار ماده خشک مصرفی ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۷.۱.۴. قابلیت هضم علوفه

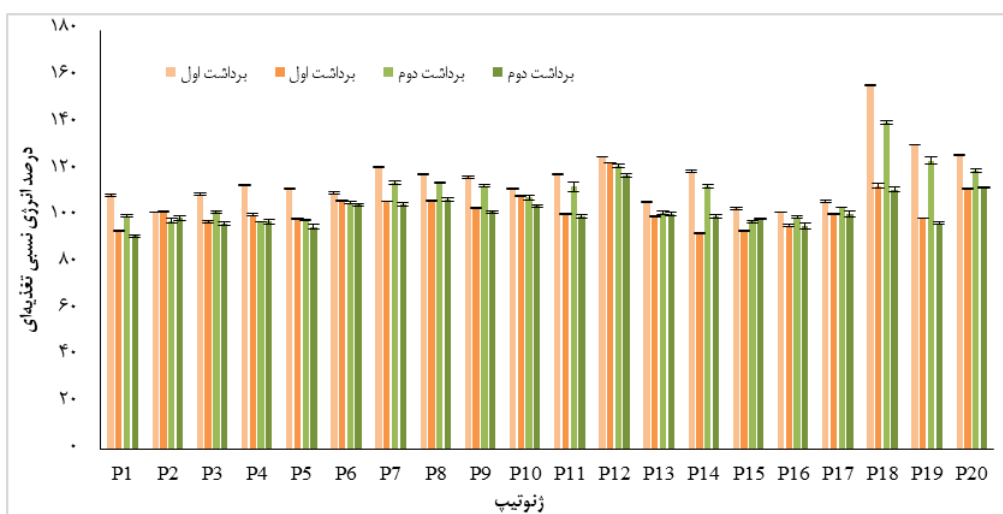
نتایج مقایسه میانگین صفت قابلیت هضم علوفه نشان داد (شکل ۸) ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۲، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در برداشت اول و ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در برداشت دوم در شرایط نرمال میانگین بالاتری داشتند. در برداشت دوم در ژنوتیپ‌ها ۹، ۱۲، ۱۴ و ۲۰ در شرایط تنش میانگین بالاتری داشتند. نتایج متفاوتی در مورد تأثیر تنش آبی بر ویژگی‌های کیفیت علوفه از جمله قابلیت هضم علوفه وجود دارد.



شکل ۸. مقایسه میانگین صفت قابلیت هضم علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۸.۱.۴. انرژی نسبی تغذیه‌ای

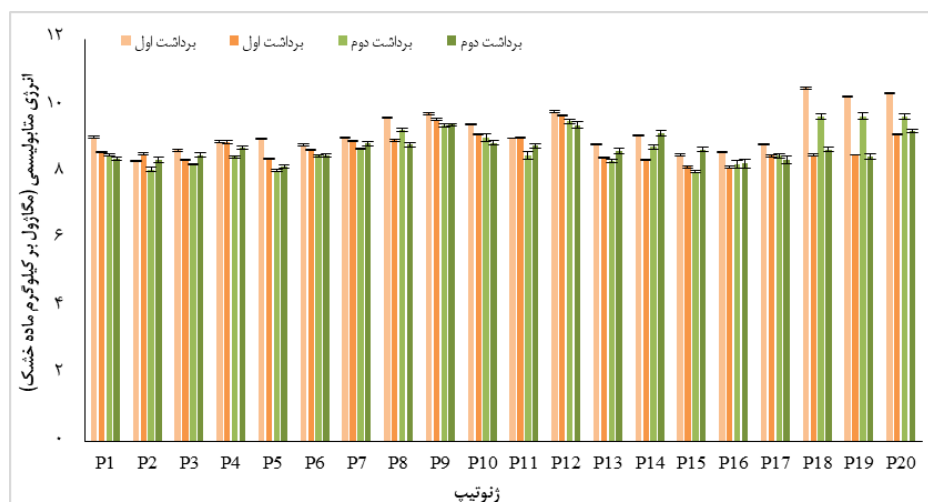
نتایج مقایسه میانگین صفت انرژی نسبی تغذیه‌ای نشان داد در برداشت اول تحت شرایط نرمال میانگین‌های بالاتری در تمام ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (شکل ۹). در برداشت دوم بیش‌تر ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال میانگین بالاتری داشتند، اما برای بعضی از ژنوتیپ‌ها مانند ۲، ۴، ۶، ۱۳ و ۱۵ در برداشت دوم تفاوتی بین تنش و نرمال مشاهده نشد.



شکل ۹. مقایسه میانگین صفت انرژی نسبی تغذیه‌ای ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۹.۱.۴. انرژی متابولیسمی

نتایج مقایسه میانگین صفت انرژی متابولیسمی نشان داد (شکل ۱۰) ژنوتیپ‌های ۹، ۱۲، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در شرایط نرمال و ژنوتیپ‌های ۹ و ۱۲ در شرایط تنش در برداشت اول میانگین بالاتری داشت و برای ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۱ تفاوتی بین شرایط تنش و نرمال مشاهده نشد. بقیه ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال میانگین بالاتری نسبت به تنش داشتند. در برداشت دوم ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۲، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در شرایط نرمال میانگین بالاتری داشتند.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین صفت انرژی متابولیسمی ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت

#### ۲.۴. تجزیه خوشه‌ای براساس صفات کیفیت علوفه

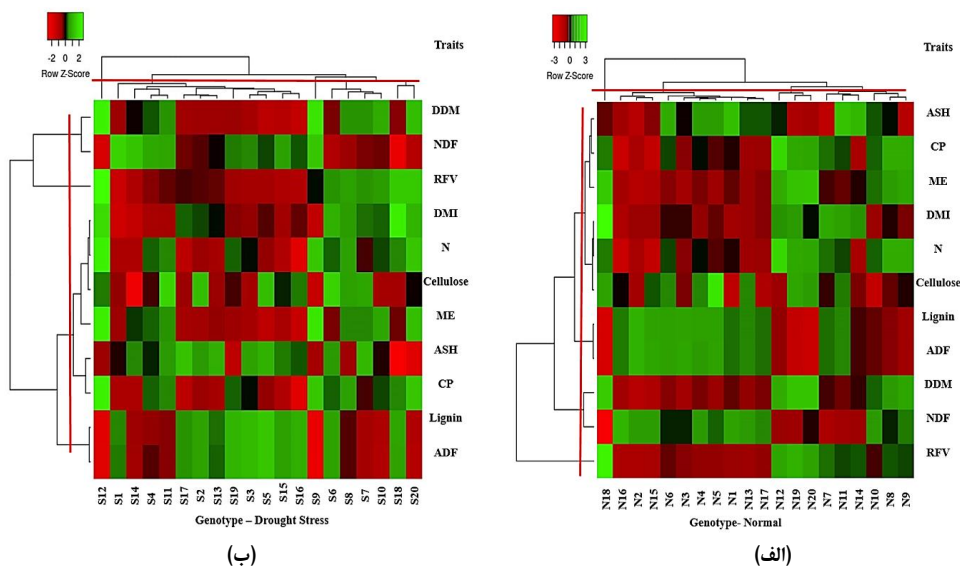
خوشه‌بندی صفات کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت شرایط نرمال و تنش خشکی براساس میانگین دو برداشت و فاصله اقلیدسی انجام شد (شکل ۱۱)، نتایج خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس صفات کیفیت نشان داد که در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی ژنوتیپ‌ها در پنج گروه قرار گرفتند این ژنوتیپ‌ها نیز از پنج منطقه جغرافیایی بودند. در شرایط نرمال ژنوتیپ‌ها به تفکیک در پنج گروه شامل گروه اول ژنوتیپ ۱، گروه دوم ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۷، گروه سوم ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۹ و ۲۰، گروه چهارم ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱ و ۱۴ و گروه پنجم ژنوتیپ‌های ۸، ۹ و ۱۰ قرار گرفتند. در شرایط تنش نیز ژنوتیپ‌ها در پنج گروه قرار گرفتند که شامل گروه اول ژنوتیپ ۱۲، گروه دوم ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷، گروه سوم ژنوتیپ ۹، گروه چهارم ژنوتیپ‌های ۶، ۷، ۸ و ۱۰ و گروه پنجم ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۲۰ بودند. ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۳، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ در هر دو شرایط نرمال و تنش در یک گروه قرار گرفتند که ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ دارای منطقه جغرافیایی مشترک از کشور سوئیس در این گروه طبقه‌بندی شدند. گروه‌بندی سایر ژنوتیپ‌ها با منطقه جغرافیایی مطابقت نداشت. گروه‌بندی صفات کیفیت علوفه نیز نشان داد در هر دو شرایط نرمال و تنش صفات در چهار گروه طبقه‌بندی شدند.

باتوجه به این‌که ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ در هر دو شرایط در یک گروه قرار دارند و از نظر کیفیت اصلاحی مناسب هستند می‌توان برای برنامه‌های اصلاحی بعدی در نظر گرفته شوند.

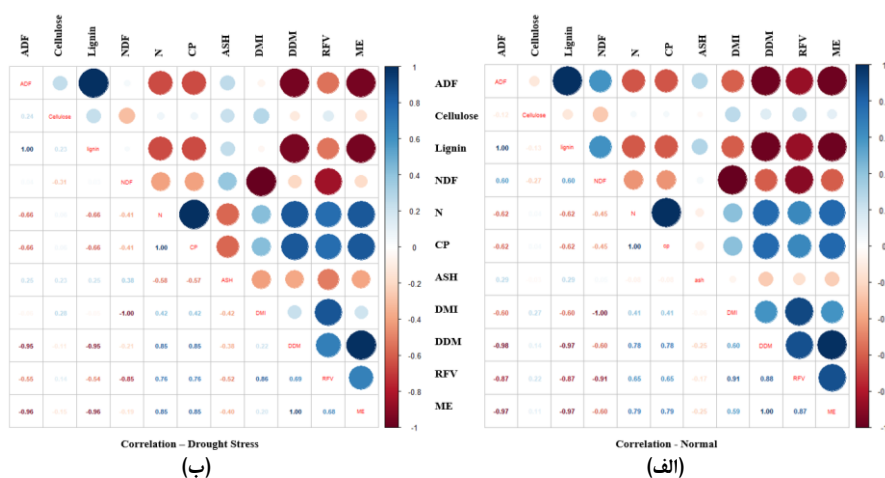
#### ۳.۴. همبستگی صفات

همبستگی صفات کیفیت علوفه (شکل ۱۲) در شرایط نرمال و تنش خشکی در دو برداشت نشان داد در شرایط نرمال و تنش فیبر شوینده اسیدی با لیگنین، میزان ازت با پروتئین خام و قابلیت هضم علوفه با انرژی متابولیسمی مثبت و معنی‌دار بالایی دارند. از طرفی در شرایط نرمال فیبر شوینده اسیدی با قابلیت هضم علوفه، انرژی نسبی تغذیه‌ای و انرژی متابولیسمی، لیگنین با قابلیت هضم علوفه، انرژی نسبی تغذیه‌ای و انرژی متابولیسمی و هم‌چنین فیبر شوینده خشی با مقدار ماده خشک مصرفی و انرژی نسبی تغذیه‌ای همبستگی منفی و معنی‌دار بالایی نشان دادند. بین میزان خاکستر کل با سلولز، فیبر شوینده خشی، ازت و پروتئین خام و هم‌چنین بین مقدار ماده خشک مصرفی و خاکستر کل همبستگی وجود نداشت. در شرایط تنش

بین صفات فیبر شوینده اسیدی با قابلیت هضم علوفه و انرژی متابولیسمی، لیگنین با قابلیت هضم علوفه و انرژی متابولیسمی و همچنین فیبر شوینده خنثی با مقدار ماده خشک مصرفی همبستگی منفی و معنی‌دار بالایی مشاهده شد.



شکل ۱۱. خوشه‌بندی ژنوتیپ و صفات در شرایط نرمال (الف) و تنش کم‌آبی (ب)



شکل ۱۲. همبستگی صفات کیفیت علوفه در شرایط نرمال (الف) و تنش (ب)

## ۵. بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفیت علوفه ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس تحت تنش خشکی و نرمال در دو برداشت نشان داد بین صفات در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد که بیانگر تنوع در بین ژنوتیپ‌ها می‌باشد و این تنوع ممکن است تحت شرایط آب‌وهوایی و تنش عملکرد متفاوتی ایجاد کند که انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و سازگار با شرایط در طول زمان می‌تواند به بهبود عملکرد کمک کند. همچنین نتایج مقایسه میانگین صفات کیفیت علوفه نشان داد که هر ژنوتیپی برای هر صفتی تحت شرایط نرمال و تنش می‌تواند افزایش، کاهش و یا تفاوتی نداشته باشد و لزوماً برای

تمام محیط‌ها و شرایط تنش نتایج یکسانی نخواهند داشت و بسته به موقعیت و سازگاری ایجاد شده می‌تواند برتری داشته باشند. اجزای دیواره سلولی مانند فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی تحت تأثیر روش‌های آبیاری و تنش خشکی قرار می‌گیرند (تواضع<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). بنابراین، اگر تنش آبی زیاد نباشد ممکن است کیفیت علوفه گیاه در شرایط تنش با گیاهی که تحت تنش نیست در یک موقعیت زمانی یکسان نیز بهتر باشد. از آنجایی که صفات مرتبط با تغذیه با فیبر شوینده اسیدی نیز مرتبط هستند کاهش فیبر شوینده اسیدی باعث افزایش درصد مواد مغذی می‌شود. محتوای بالای لیگنین می‌تواند پتانسیل آب را کاهش دهد و از تخریب اکسیداتیو جلوگیری کند و در شرایط تنش خشکی به حفظ ساختار پروتئین و غشا کمک کند (سشاد<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی تنش خشکی باعث افزایش لیگنینی‌شدن دیواره سلولی می‌شود که می‌تواند به دلیل کاهش دسترسی به مواد مغذی، انتقال در گیاه و رشد گیاه باشد (لیزا<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). مدت و شدت تنش بیش‌تر می‌تواند باعث مهار رشد، بلوغ زودرس، مرگ بافت گیاهی و کاهش برگ نسبت به ساقه شود که در نتیجه این پاسخ‌ها، غلظت فیبر کل گیاه به‌ویژه بخش لیگنین افزایش می‌یابد و هم‌چنین ضخامت دیواره سلولی و استحکام علوفه نیز افزایش می‌یابد که باعث کاهش کیفیت علوفه می‌شود (رن<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). در شرایط تنش خشکی منابع برای تولید فیبر ساختاری که منجر به کاهش فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی می‌شود اختصاص داده نمی‌شود بلکه به فرایندهای متابولیک ضروری اختصاص داد می‌شود (فرهادی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش فیبرهای ساختاری به دلیل تغییر در تخصیص کربن از بیوسنتز دیواره سلولی به سنتز کربوهیدرات‌های محلول نسبت داده می‌شود (مونه-باش<sup>۶</sup> و آلگره<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴).

غلظت پروتئین خام به میزان جذب نیتروژن بستگی دارد که به میزان زیادی به در دسترس بودن آب وابسته است. در پاسخ به تنش آبی پروتئین‌های متفاوتی تولید می‌شود که بعضی از آن‌ها محلول در آب می‌باشند و به تحمل تنش کمک می‌کنند (فاروک<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش بیان پروتئین‌ها و آنزیم‌های پاسخ‌دهنده به تنش است که در محافظت از اسمزی و ترمیم سلولی نقش دارند و سنتز پروتئین را افزایش می‌دهند (یاماگوچی-شینوزکی<sup>۹</sup> و شینوزکی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۶). گیاهان در معرض تنش آبی با افزایش سطح ریشه و تراکم طول ریشه، باعث تسهیل در جذب مواد مغذی می‌شوند، بنابراین نیتروژن معدنی موجود برای گیاهان افزایش می‌یابد (لیو<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی گزارش شد تنش آبی منجر به افزایش پروتئین خام در ارزن مرواریدی شده است (رستم‌زا<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر، افزایش درصد پروتئین خام در هیبریدهای سورگوم-سودان گراس با افزایش تنش رطوبتی مشاهده شد (بی‌بی<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). بررسی‌ها نشان داد که تنش ملایم آب می‌تواند محتوای پروتئین را در علف‌های علوفه‌ای به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد (فاریازوسکا و همکاران، ۲۰۱۷). به‌طور کلی می‌توان گفت، کیفیت محصولات علوفه‌ای می‌تواند بسته به ژنوتیپ، تحت تأثیر مثبت یا منفی اثرات تنش آبی قرار گیرند.

1. Tavazoh
2. Sarshad
3. Lisar
4. Ren
5. Farhadi
6. Munné-Bosch
7. Alegre
8. Farooq
9. Yamaguchi-Shinozaki
10. Shinozaki
11. Liu
12. Rostamza
13. Bibi

هم‌چنین افزایش قابلیت هضم ماده آلی و قابلیت هضم دیواره سلولی در شرایط تنش خشکی مشاهده شد (فاریازوسکا و همکاران، ۲۰۱۷) که پاسخ کیفیت تغذیه‌ای به تنش خشکی متوسط متناقض است که می‌تواند باعث عدم تغییر یا کاهش غلظت فیبر و عدم تغییر یا بهبود خیلی کم در غلظت پروتئین خام و قابلیت هضم گونه‌های علوفه‌ای شود (استنیک و هاراسیم<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸). کربوهیدرات‌های محلول برای هضم در دسترس‌تر هستند و محتوای انرژی بالاتری فراهم می‌کنند و منجر به افزایش انرژی متابولیسمی می‌شود (تواضع و همکاران، ۲۰۲۴). انرژی متابولیسمی در شرایط تنش کم‌آبی افزایش می‌یابد (فرهادی و همکاران، ۲۰۲۲). متابولیسم کربوهیدرات‌ها تحت تأثیر تنش خشکی باعث افزایش سطوح کربوهیدرات‌های محلول مانند قندها و نشاسته‌ها می‌شود (هانگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). تنش خشکی منجر به انباشته‌شدن اسمولیت‌هایی مانند قندهای محلول و پرولین می‌شود که علاوه بر محافظت از ساختار سلولی، باعث افزایش دسترسی به انرژی نیز می‌شود (ورسلوز<sup>۳</sup> و شارما<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). انرژی نسبی تغذیه‌ای تحت تنش کم‌آبی با کاهش فیبر شوینده خنثی و فیبر شوینده اسیدی بهبود می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش قابلیت هضم و دسترسی به مواد مغذی است که آن را به منبع علوفه‌ای ارزشمند تبدیل می‌کند (تواضع و همکاران، ۲۰۲۴). در پژوهشی بیان شد آبیاری بیش از حد باعث کاهش قابلیت هضم ماده خشک سورگوم علوفه‌ای می‌شود (کارمی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای دیگر قابلیت هضم ماده خشک علف باغی و چاودار چند ساله تحت تأثیر تنش آبی قرار نگرفت و حتی میزان آن افزایش پیدا نکرد (جنسن<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۳). در پژوهشی دیگر، بیان شد با کاهش آب آبیاری قابلیت هضم ماده خشک افزایش یافت (جهانزاد<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). تأثیر تنش خشکی بر پارامترهای کیفیت علوفه در علف‌های علوفه‌ای در چند گونه (چشم یک‌ساله، چشم چندساله، فسکیوی بلند و فستولولیوم) ارزیابی شد. نتایج افزایش قابلیت هضم ماده آلی و قابلیت هضم دیواره سلولی را در شرایط تنش خشکی نشان دادند (فاریازوسکا و همکاران، ۲۰۱۷).

در این مطالعه تنوع قابل‌توجهی در ارزش غذایی ژنوتیپ‌های فستوکا پرتنسیس مورد مطالعه وجود داشت که با مطالعه پابون-پریا و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت. در برگ‌های سبز فستوکا پرتنسیس ۴۸۲/۹ گرم در کیلوگرم فیبر شوینده خنثی، ۲۷۹/۲ گرم در کیلوگرم فیبر شوینده اسیدی و ۱۵/۲ گرم در کیلوگرم فیبر شوینده لیگنین (ADL)<sup>۸</sup> مشاهده شد (پابون-پریا<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). توده علفی فستوکا پرتنسیس حاوی ۱۱ درصد پروتئین خام و ۵۹ درصد فیبر شوینده خنثی بود (دبور<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی دیگر، ارزش غذایی توده تازه فستوکا پرتنسیس برابر ۷۱ گرم در کیلوگرم پروتئین خام، ۹۰ گرم در کیلوگرم خاکستر، ۶۰۹ گرم در کیلوگرم فیبر شوینده خنثی، ۳۶۴ گرم در کیلوگرم فیبر شوینده اسیدی بیان شد، اما در فسکیوی بلند ۷۵ گرم در کیلوگرم پروتئین خام، ۸۲ گرم در کیلوگرم خاکستر، ۶۲۷ گرم در کیلوگرم و فیبر شوینده خنثی و ۳۵۶ گرم در کیلوگرم و فیبر شوینده اسیدی مشاهده شده است (کوبلنتز<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). پژوهش‌گران بیان کردند میزان ماده خشک و ارزش غذایی در فستوکا پرتنسیس به میزان ۳۰۰/۹۸ تا ۳۱۰/۴۸ گرم در کیلوگرم ماده خشک، ۸۲/۱۶ تا ۸۶/۱۹ گرم در کیلوگرم پروتئین، ۲۹۱/۴۲ تا ۳۱۱/۲۹ گرم در کیلوگرم فیبر خام، ۵۵۴/۵۳۴ تا ۵۶۳/۳۱۱ گرم در کیلوگرم و فیبر شوینده خنثی و ۲۸۳/۵۸ تا ۲۹۳/۹۳ گرم در کیلوگرم فیبر شوینده اسیدی مشاهده شد (پودکوکوا<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱).

1. Harasim
2. Huang
3. Verslues
4. Sharma
5. Carmi
6. Jensen
7. Jahanzad
8. Acid Detergent Lignin
9. Pabón-Pereira
10. DeBoer
11. Coblenz
12. Podkówka

در این مطالعه در شرایط تنش بین صفات فیبر شوینده اسیدی با قابلیت هضم علوفه و انرژی متابولیسمی، لیگنین با قابلیت هضم علوفه و انرژی متابولیسمی و همچنین فیبر شوینده خنثی با مقدار ماده خشک مصرفی همبستگی منفی و معنی‌دار بالایی مشاهده شد. همبستگی منفی ممکن است به این دلیل باشد که محتویات دیواره سلولی از جمله فیبر شوینده خنثی، فیبر شوینده اسیدی و همی سلولز همیشه کمتر از محتویات محلول در سلول قابل هضم می‌باشند و همچنین محتویات خنثی، فیبر شوینده اسیدی و همی سلولز به‌سادگی به‌عنوان مانع فیزیکی برای آنزیم‌های میکروبی که به پلی‌ساکاریدهای هدف خود واکنش نشان می‌دهد، عمل می‌کنند. بنابراین قابلیت هضم، محتوای سلولی و مصرف با وجود اجزای سلولی کاهش می‌یابد و همبستگی منفی وجود دارد (پراجاپاتی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی همبستگی منفی بین قابلیت هضم دیواره سلولی و محتوای فیبر شوینده اسیدی و فیبر شوینده خنثی مشاهده شد (فاریازوسکا و همکاران، ۲۰۲۰).

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ژنوتیپ‌های موردبررسی برای صفات کیفیت علوفه ارزیابی‌شده دارای تنوع بودند و در محیط‌های متفاوت واکنش‌های مختلفی نشان دادند بر این اساس در این آزمایش ژنوتیپ‌هایی انتخاب شد که در شرایط تنش خشکی کیفیت علوفه بالاتر یا برابری داشته باشند. بنابراین، ژنوتیپ‌های ۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ که فیبر شوینده اسیدی و فیبر شوینده خنثی کمتر و میزان پروتئین بالاتری دارند و یا در هر دو سال در شرایط تنش و نرمال به یک میزان تغییر کردند انتخاب شدند. این ژنوتیپ‌ها در مراحل بعدی آزمایش‌ها مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

## ۷. تشکر و قدردانی

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهش‌گران و فناوران کشور (INSF) (بنیاد علم) برگرفته‌شده از طرح شماره ۴۰۰۸۲۸ انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۹. منابع

حسینی‌فرد، مرجان‌السادات؛ قربانی جاوید، مجید؛ سلطانی، الیاس؛ اله‌دادی، ایرج و کهریزی، دانیال (۱۴۰۱). بررسی عملکرد دانه و محتوای روغن ۴۰ لاین هاپلوئید مضاعف کاملینا (*Camelina sativa* L.). به‌زراعی کشاورزی، ۲۴(۲)، ۴۹۷-۵۰۹.

## References

- Amiri, F. (2010). Evaluation and applicability of the three components forage value model in strategic use of grasslands. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 5 (36), 785-790.
- 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. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(4), 1092-1100.
- Biffin, T. E., Hopkins, D. L., Bush, R. D., & Smith, M. A. (2019). The effects of season and post-transport rest on alpaca (*Vicugna pacos*) meat quality. *Meat Science*, 159.

- Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A., & Miron, J. (2019). Effects of irrigation and plant density on yield, composition and *in vitro* digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 121-133.
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (Eds.). (2008). Soil sampling and methods of analysis (2nd ed.). CRC Press.
- Coblentz, W. K., Akins, M. S., & Cavadini, J. S. (2020). Fermentation characteristics and nutritive value of baled grass silages made from meadow fescue, tall fescue, or an orchardgrass cultivar exhibiting a unique nonflowering growth response. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3219-3233.
- Cui, L., Xu, L., Wang, H., Fan, X., Yan, C., Zhang, Y., Jiang, C., Zhou, T., Guo, Q., Sun, Y., Yang, F., & Li, H. (2025). Evaluation of Dual-Purpose Triticale: Grain and Forage Productivity and Quality Under Semi-Arid Conditions. *Agronomy*, 15(4), 881.
- Daduwal, H. S., Bhardwaj, R., Lamba, J. S., Vikal, Y., & Srivastava, R. K. (2025). QTL mapping and candidate gene identification for fodder quality traits in Pearl millet. *BMC Plant Biology*, 25(1), 404.
- DeBoer, M. L., Grev, A. M., Sheaffer, C. C., Wells, M. S., & Martinson, K. L. (2020). Herbage mass, botanical composition, forage nutritive value, and preference of grass-legume pastures under horse grazing. *Crop, Forage and Turfgrass Management*, 6(1), 1-9.
- Du, C., Ni, X., Yan, M., Meng, Q., & He, J. (2025). Physiological and transcriptome analysis reveals the mechanism of *Gymnocarpus przewalskii* response to drought stress. *BMC Plant Biology*, 25(1), 155.
- Durand, J. L., Gonzalez-Dugo, V., & Gastal, F. (2010). How much do water deficits alter the nitrogen nutrition status of forage crops? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2), 231-243.
- Exposito-Alonso, M., Exposito-Alonso, M., Gómez Rodríguez, R., Barragán, C., Capovilla, G., Chae, E., Devos, J., Dogan, E. S., Friedemann, C., Gross, C., Lang, P., Lundberg, D., Middendorf, V., Kageyama, J., Karasov, T., Kersten, S., Petersen, S., Rabbani, L., Regalado, J., Weigel, D. (2019). Natural selection on the *Arabidopsis thaliana* genome in present and future climates. *Nature*, 573(7772), 126-129.
- Farhadi, A., Farzad, P., Golzardi, F., Ilkaee, M., & Aghayari, F. (2022). Effects of Limited Irrigation and Nitrogen Rate on the Herbage Yield, Water Productivity, and Nutritive Value of Sorghum Silage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53, 576-589.
- Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., Baert, J., De Riek, J., Staniak, M., & Pecio. (2017). Mild Drought Stress-Induced Changes in Yield, Physiological Processes and Chemical Composition in *Festuca*, *Lolium* and *Festulolium*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(2), 103-116.
- Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., De Swaef, T., Baert, J., & Pecio. (2020). Physiological and Biochemical Responses of Forage Grass Varieties to Mild Drought Stress Under Field Conditions. *International Journal of Plant Production*, 14(2), 335-353.
- Farooq, M., A. Wahid, Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Review article Plant drought stress : effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
- Goering, H. K., & Van, P. J. (1975). Forage fiber analyses. *U.S. Department of Agriculture*, 379, 387-598.
- Grant, K., Kreyling, J., Dienstbach, L. F. H., Beierkuhnlein, C., & Jentsch, A. (2014). Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality of a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186, 11-22.
- Hakl, J., Kunzová, E., Tocauerová, Š., Menšík, L., Mrázková, M., & Pozdíšek, J. (2021). Impact of long-term manure and mineral fertilization on yield and nutritive value of lucerne (*Medicago sativa*) in relation to changes in canopy structure. *European Journal of Agronomy*, 123(5), 1036-1050.
- Heckman, R. W., Aspinwall, M. J., Taylor, S. H., Lowry, D. B., Khasanova, A., Bonnette, J. E., Razzaque, S., Fay, P. A., & Juenger, T. E. (2025). Changes in leaf economic trait relationships across a precipitation gradient are related to differential gene expression in a C4 perennial grass. *New Phytologist*, 246(4), 1583-1596.
- Hosseinfard, M., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Allah dadi, I., & Kahrizi, D. (2022). Evaluation of Seed Yield and Oil Content of 40 *Camelina* (*Camelina sativa* L.) Doubled Haploid Lines. *Journal of Crops Improvement*, 24(2), 497-509. (In Persian).
- Huang, X., Guo, W., Yang, L., Zou, Z., Zhang, X., Addo-Danso, S. D., Zhou, L., & Li, S. (2023). Effects of Drought Stress on Non-Structural Carbohydrates in Different Organs of *Cunninghamia lanceolata*. *Plants*, 12(13), 2477.
- Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M., & Dashtaki, M. (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, 117, 62-69.

- Jensen, K. B., Waldron, B. L., Asay, K. H., Johnson, D. A., & Monaco, T. A. (2003). Forage nutritional characteristics of orchardgrass and perennial ryegrass at five irrigation levels. *Agronomy Journal*, 95(3), 668-675.
- Kamran, M., Yan, Z., Jia, Q., Chang, S., Ahmad, I., Ghani, M. U., & Hou, F. (2022). Irrigation and nitrogen fertilization influence on alfalfa yield, nutritive value, and resource use efficiency in an arid environment. *Field Crops Research*, 284, 108587.
- Küchenmeister, F., Küchenmeister, K., Kayser, M., Wrage-Mönnig, N., & Isselstein, J. (2014). Effects of drought stress and sward botanical composition on the nutritive value of grassland herbage. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(4), 715-722.
- Lisar, S. Y., Motafakkerazad, R., Hossain, M. M., & Rahman, I. M. (2012). Causes, effects and responses. *Water Stress*, 25(1), 33.
- Liu, L., Gan, Y., Bueckert, R., & Van Rees, K. (2011). Rooting systems of oilseed and pulse crops I: Temporal growth patterns across the plant developmental periods. *Field Crops Research*, 122(3), 256-263.
- Mao, X., Li, Q., Ren, L., Bai, W., & Zhang, W. H. (2018). Application of molybdenum fertilizer enhanced quality and production of alfalfa in northern China under non-irrigated conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 41(8), 1009-1019.
- Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2004). Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31(3), 203-216.
- Pabón-Pereira, C. P., Hamelers, H. V. M., Matilla, I., & van Lier, J. B. (2020). New insights on the estimation of the anaerobic biodegradability of plant material: Identifying valuable plants for sustainable energy production. *Processes*, 8(7), 806.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., De Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61(3), 167-234.
- Podkówka, L., Dorszewski, P., & Panka, D. (2011). Yield, chemical composition and ensiling ability of green forage from meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) infected with *Neotyphodium uncinatum*. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 10(1), 45-63.
- Prajapati, B., Prajapati, J., Kumar, K., & Shrivastava, A. (2019). Determination of the relationships between quality parameters and yields of fodder obtained from intercropping systems by correlation analysis. *Forage Research*. 45(3), 219-224.
- Ren, H., Han, G., Lan, Z., Wan, H., Schönbach, P., Gierus, M., & Taube, F. (2016). Grazing effects on herbage nutritive values depend on precipitation and growing season in Inner Mongolian grassland. *Journal of Plant Ecology*, 9(6), 712-723.
- Rostamza, M., Chaichi, M. R., Jahansou, M. R., & Alimadadi, A. (2011). Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, 98(10), 1607-1614.
- Rushing, J.B., Saha, U.K., Lemus, R., Sonon, L., & Baldwin, B.S. (2016) Analysis of Some Important Forage Quality Attributes of Southeastern Wildrye (*Elymus glabriflorus*) Using Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *American Journal of Analytical Chemistry*, 7, 642-662.
- Samy, J. K. A., Rognli, O. A., & Kovi, M. R. (2020). ForageGrassBase: molecular resource for the forage grass meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). Database, 2020, baaa046.
- Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafiei, F., & Nejatkhah, P. (2021). Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. *SN Applied Sciences*, 3(1), 1-12.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- Sheaffer, C. C., Peterson, P. R., Hall, M. H., & Stordahl, J. B. (1992). Drought Effects on Yield and Quality of Perennial Grasses in the North Central United States. *Journal of Production Agriculture*, 5(4), 556-561.
- Shi, Z., Liang, G., Liu, W., Li, S., & Qin, Y. (2024). Heliyon Optimization of nitrogen and phosphorus fertilization for enhanced forage production and quality of *Festuca Krylovianacv*. Huanhu artificial grassland in alpine regions. *Heliyon*, 10(15), e35116.

- Staniak, M. (2016). The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. *Acta Agrobotanica*, 69(2), 1-12.
- 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(5), 456-466.
- Tavazoh, M., Habibi, D., Golzardi, F., Ilkaee, M. N., & Paknejad, F. (2024). Effect of drought stress on morpho-physiological characteristics, nutritive value, and water-use efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench varieties under various irrigation systems. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e286121.
- Thiex, N. J., Manson, H., Anderson, S., & Persson, J. Å. (2002). Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85(2), 309-317.
- Thiex, N., Novotny, L., & Crawford, A. (2012). Determination of ash in animal feed: AOAC Official Method 942.05 revisited. *Journal of AOAC International*, 95(5), 1392-1397.
- Wójtowicz, T., & Zieliński, A. (2021). Variability of Selected Traits in Meadow Fescue (*Festuca pratensis* Huds.) Plants with Different Susceptibility to Seed Shattering. *Biology and Life Sciences Forum*, 3(1), 23.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Verslues, P. E., & Sharma, S. (2010). Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. *The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists*, 8, e0140.
- Wang, J. P., Bughrara, S. S., & Nelson, C. J. (2008). Morpho-physiological responses of several fescue grasses to drought stress. *HortScience*, 43(3), 776-783.
- Westerband, A. C., Funk, J. L., & Barton, K. E. (2021). Intraspecific trait variation in plants: A renewed focus on its role in ecological processes. *Annals of Botany*, 127(4), 397-410.
- Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 781-803.