تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۴۰۳-۳۸۹

مقاله پژوهشی

فراتحلیل اثر تنش خشکی بر عملکرد برخی گیاهان مهم علوفه‌ای-دانه‌ای در ایران

فرید گل‌زردی[1*]، علی ماهرخ[1]، فرهاد عزیزی[1]، محمد زمانیان[1]، سید محمدعلی مفیدیان[1]، وحید رهجو[1]، عظیم خزائی[1]، علی مقدم[1]، ویدا قطبی[1]، مسعود ترابی[2]، الیاس سلطانی[3]

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۳- گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

* مسئول مکاتبه: F.golzardi@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.325559.1183**

چکیده

این مطالعه به‌منظور فراتحلیل پژوهش‌های انجام‌شده درباره تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه و علوفه چند گیاه زراعی مهم انجام شد. در این بررسی داده‌های به‌دست‌آمده از ۱۴۵ مورد گزارش نهایی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و مقالات منتشر شده طی دهه اخیر شامل سورگوم دانه‌ای (۱۸ مطالعه)، سورگوم علوفه‌ای (۲۱ مطالعه)، ذرت دانه‌ای (۲۸ مطالعه)، ذرت علوفه‌ای (۲۳ مطالعه)، ارزن دانه‌ای (۱۸ مطالعه)، یونجه (۱۷ مطالعه) و شبدر (۲۰ مطالعه) مورد فراتحلیل قرار گرفتند. بر اساس نتایج، تأثیر کلی تنش خشکی بر عملکرد هر هفت محصول سورگوم دانه‌ای (۱۶/۳۰-٪)، سورگوم علوفه‌ای (۱۸/۲۷-٪)، ذرت دانه‌ای (۳۱/۷۵-٪)، ذرت علوفه‌ای (۳۳/۲۴-٪)، ارزن دانه‌ای (۲۵/۶۶-٪)، یونجه (۳۰/۷۹-٪) و شبدر (۳۲/۱۴-٪) معنی‌دار بود. میزان اُفت عملکرد در ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، یونجه و شبدر تحت تمام سطوح تنش خشکی معنی‌دار بود، درحالی‌که عملکرد سورگوم (دانه‌ای و علوفه‌ای) و ارزن دانه‌ای فقط در شرایط تنش خشکی شدید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. عملکرد سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، ارزن دانه‌ای، یونجه و شبدر تحت تنش خشکی متوسط به‌ترتیب ۱۰/۰۳، ۱۱/۸۴، ۱۸/۲۱، ۲۰/۲۷، ۱۴/۱۳، ۱۹/۷۴ و ۲۰/۳۷ درصد و تحت تنش خشکی شدید به‌ترتیب ۲۱/۹۸، ۲۵/۴۱، ۳۹/۰۹، ۴۱/۳۷، ۳۲/۵۵، ۴۰/۱۳ و ۴۲/۰۸ درصد کاهش یافت؛ بنابراین در مناطق مواجه با محدودیت منابع آبی، امکان کشت و توسعه ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، یونجه و شبدر بدون کاهش معنی‌دار عملکرد وجود ندارد. به طور کلی با توجه به یافته‌های این فراتحلیل در مناطقی که احتمال ایجاد شرایط تنش خشکی وجود دارد، کشت سورگوم و ارزن با تحمل آستانه تنش خشکی متوسط قابل توصیه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارزن، ذرت، سورگوم، شبدر، کم‌آبیاری، یونجه

مقدمه

در سال‌های اخیر تأثیر تنش خشکی بر عملکرد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای، ارزن دانه‌ای، یونجه و شبدر در کشور، در قالب پروژه‌ها و طرح‌های پژوهشی متعدد به‌طور مجزا و مستقل مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس شرایط متنوع اقلیمی و خاکی محل اجرای آزمایش، نتایج متفاوتی حاصل شده است؛ بنابراین اگر نتایج این مطالعات در کنار یکدیگر بررسی شوند می‌توان میزان حساسیت به خشکی این گیاهان زراعی را مورد مقایسه قرار داد و مشخص نمود کدام محصولات برای کشت در اکوسیستم‌های زراعی خشک و نیمه‌خشک کشور مناسب‌تر هستند. از طرف دیگر، به علت وجود شرایط متفاوت آب و هوایی و ویژگی‌های متنوع خاک در تحقیقات مختلف، نتایج یکسانی از این آزمایشات حاصل نمی‌شود (Soltani and Soltani, 2014)؛ بنابراین برای دست‌یابی به یک تحلیل جامع ضروری است نتایج تحقیقات گوناگون به روش آماری جمع‌بندی شوند تا امکان اظهار نظر مطمئن (از نظر آماری) در مورد اثر هر عامل بر عملکرد گیاهان زراعی فراهم شود (Sutton and Higgins, 2008). به این روش تجزیه و تحلیل آماری که امکان برآورد اثر کلی از آزمایشات مختلف انجام‌شده در شرایط متفاوت را فراهم می‌کند، فراتحلیل (متاآنالیز) گفته می‌شود (Pelzer *et al.*, 2014).

نتایج فراتحلیل ۲۰ مقاله و پایان‌نامه داخلی در خصوص اثر تنش خشکی بر گیاه پنبه در ایران نشان داد که سطوح مختلف تنش خشکی بر ارتفاع بوته، تعداد غوزه و عملکرد پنبه تأثیر منفی و معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که درصد کاهش عملکرد پنبه تحت تنش خشکی ملایم، متوسط و شدید به‌ترتیب ۳۳، ۵۰ و ۵۹ درصد بود (Razaji *et al.*, 2020). هم‌چنین با فراتحلیل ۵۴ مقاله داخلی در مورد اثر تنش شوری بر عملکرد گندم در کشور مشخص شد که تمام سطوح شوری خاک و آب (از ۴ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر)، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم را به طور معنی‌داری کاهش دادند (Khaliliaqdam *et al.*, 2018). در این مطالعه تحت شرایط تنش شوری ملایم، متوسط و شدید (به‌ترتیب ۶-۴، ۱۰-۸ و ۱۶-۱۲ دسی‌زیمنس بر متر)، میزان افت عملکرد بیولوژیک گندم به‌ترتیب ۸، ۲۹ و ۷۴ درصد و میزان کاهش عملکرد دانه به‌ترتیب ۲۱، ۳۵ و ۷۶ درصد بود (Khaliliaqdam *et al.*, 2018).

نتایج فراتحلیل ۱۲۰ مطالعه منتشرشده در مورد واکنش محصولات زراعی به تنش خشکی و گرما نشان داد که تنش خشکی و گرما از طریق کاهش شاخص برداشت، کوتاه شدن چرخه زندگی گیاه و تغییر تعداد، اندازه و ترکیب دانه، بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد (Cohen *et al.*, 2020). نتایج این تحقیق هم‌چنین نشان داد که اگر تنش در مرحله زایشی گیاهان اعمال شود، این تأثیرات شدیدتر است. در این فراتحلیل مشخص شد که نوع واکنش بقولات و غلات در برابر این تنش‌های محیطی متفاوت است و هم‌چنین در زمانی‌که تنش‌های ترکیبی خشکی و گرما (به صورت توأم) وجود دارند، امکان دارد سه‌کربنه یا چهارکربنه بودن گیاه مزیت معنی‌داری برای آن ایجاد نکند (Cohen *et al.*, 2020). محققین با فراتحلیل ۳۰۳ مقاله در مورد واکنش گندم به تنش خشکی نشان دادند که عملکرد گندم بهاره بیشتر از گندم زمستانه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (Wang *et al.*, 2017). در این مطالعه مشخص شد تنش خشکی در مرحله زایشی بیش از مرحله رویشی بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد هم‌چنین عملکرد دانه در گندم دیپلوئید در مقایسه با گندم تتراپلوئید و هگزاپلوئید حساسیت بیشتری به تنش خشکی دارد و اصلاح گندم با پلوئیدی بالاتر، اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم را کاهش داده است (Wang *et al.*, 2017).

با فراتحلیل تأثیر تنش خشکی در ۵۵ مطالعه منتشرشده در مورد برنج و ۶۰ مطالعه در مورد گندم مشخص شد که واکنش خصوصیات زراعی برنج و گندم به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد متفاوت بود و به‌طور کلی خشکی، عملکرد گندم و برنج را به‌ترتیب ۲۷/۵ و ۲۵/۴ درصد کاهش داد. در این مطالعه عنوان شد که با افزایش مرحله رشد و نمو گیاه، اثر منفی خشکی بر عملکرد برنج افزایش یافت و حداکثر اثرات مخرب تنش در طول مرحله زایشی برنج مشاهده شد، درحالی‌که اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد گندم در تمام مراحل رشد و نموی آن یکسان بود. بر اساس نتایج این فراتحلیل، خشکسالی‌های آینده در مقایسه با خشکسالی فعلی، عملکرد برنج و گندم را بیشتر کاهش خواهند داد (Zhang *et al.*, 2018). هم‌چنین نتایج فراتحلیل ۸۴ مقاله درباره پاسخ گیاهان به تنش خشکی نشان داد که کم‌آبی، نرخ رشد و فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد و در عین حال باعث افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، نفوذپذیری غشا و ارتقای فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌شود. در این فراتحلیل مشخص شد که تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن تحت تنش کم‌آبی، بیشترین تأثیر را بر واکنش گیاهان دارد (Sun *et al.*, 2020). هدف از مطالعه حاضر جمع‌آوری و جمع‌بندی نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی طی دهه اخیر در مورد تأثیر تنش خشکی بر عملکرد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای، ارزن دانه‌ای، یونجه و شبدر با استفاده از روش فراتحلیل است تا به یک نتیجه نهایی در رابطه با امکان‌سنجی کشت محصولات مذکور در شرایط مختلف کشور دست یافت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این فراتحلیل از نتایج ۱۴۵ مورد گزارش نهایی پروژه‌های تحقیقاتی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و مقالات منتشر شده طی دهه اخیر در مورد اثر تنش خشکی متوسط و شدید بر ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، سورگوم علوفه‌ای، سورگوم دانه‌ای، ارزن دانه‌ای، یونجه و شبدر استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- تعداد مطالعه‌ها در بررسی اثر تنش خشکی بر محصولات زراعی موردبررسی به روش فراتحلیل

Table 1- Number of studies on the effect of drought stress on the studied crops by meta-analysis method

محصول زراعی Crop	تعداد مطالعه Number of studies
سورگوم دانه‌ای Grain sorghum	18
سورگوم علوفه‌ای Forage sorghum	21
ذرت دانه‌ای Grain maize	28
ذرت علوفه‌ای Forage maize	23
ارزن دانه‌ای Grain millet	18
یونجه Alfalfa	17
شبدر Clover	20
مجموع Total	145

جهت بررسی داده‌ها از روش فراتحلیل استفاده شد. در این روش علاوه بر نتایج کمی مطالعات، به واریانس اندازه اثر نیز توجه می‌شود. بدین منظور در هر مطالعه، مقدار میانگین، انحراف معیار و اندازه نمونه (تعداد تکرار در هر آزمایش) برای تیمار شاهد (بدون تنش) و تیمار تنش خشکی استخراج شد. سپس داده‌ها دسته‌بندی شد و نسبت واکنش (R) و لگاریتم طبیعی آن بر اساس رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد:

$$R = \frac{\overline{x_E}}{\overline{xc}} \qquad (۱)$$

$$L = \ln R = \ln(\frac{\overline{x_E}}{\overline{x_C}}) \qquad (۲)$$

در این رابطه‌ها $\bar{x}_E$ و $\bar{x}_C$ به‌ترتیب میزان میانگین عملکرد در تیمار تنش خشکی و تیمار بدون تنش هستند. از آنجا که در برآورد اندازه اثر مطالعات گوناگون، دقت‌های متفاوتی وجود دارد، پیش از متاآنالیز بهتر است وزن‌دهی داده‌ها انجام شود، تا آزمایشاتی که از دقت بالاتری برخوردار هستند، وزن بیشتری داشته باشند. بدین منظور میانگین وزنی لگاریتم نسبت واکنش که حداقل واریانس و حداکثر دقت را ایجاد می‌کند، با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه شد:

$$\overline{\ln R} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\ln R_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad (۳)$$

$$\overline{L^*} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(W_i \times L_i)}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad (۴)$$

در این رابطه‌ها i و w به‌ترتیب شماره آزمایش و تعداد تکرار در هر مشاهده هستند. حدود اطمینان برای میانگین لگاریتم نسبت واکنش ($\mu_\lambda \ln R=$) که با (CL_L، CL_U) نشان داده می‌شوند، نیز از طریق رابطه‌های ۵ و ۶ به‌دست آمد (Soltani and Soltani, 2014):

$$CL = \overline{L^*} \pm (-z_{\alpha/2} \times SEM(\overline{L^*})) \qquad (۵)$$

$$(CL_L) \le \mu_\lambda \le (CL_U) \qquad (۶)$$

در مرحله بعد از μ_λ، آنتی‌لگاریتم گرفته شد. سپس میانگین‌های آنتی‌لگاریتم‌شده (μ_p) مقایسه و حدود اطمینان برای μ_p بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد (Soltani and Soltani, 2014):

$$\exp(CL_L) \le \mu_p \le \exp(CL_L) \qquad (۷)$$

هر چند حدود اطمینان برای لگاریتم نسبت واکنش، متقارن است، ولی در مورد داده‌هایی که معکوس تبدیل روی آن‌ها انجام شده (μ_p)، حدود اطمینان متقارن نیستند. در این مورد مشخص شد که کدام تیمار دارای اثر کاهشی و کدام تیمار دارای اثر افزایشی بر عملکرد گیاه زراعی موردبررسی بوده است. هم‌چنین تیمارهایی که هیچ‌گونه اثر مثبت یا منفی نداشتند، نیز تعیین شدند. به منظور

بررسی معنی‌داری تغییرات عملکرد تحت تأثیر تنش خشکی از آزمون تی (t-test) استفاده شد و مقایسه گروهی بین میانگین عملکرد تحت تنش خشکی و میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش انجام گرفت (Elsayir, 2015). کلیه مراحل آماری و رسم نمودار درصد تغییرات در محیط نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش فراتحلیل، تأثیر تنش خشکی بر عملکرد سورگوم دانه‌ای و سورگوم علوفه‌ای در سطح احتمال پنج درصد و بر عملکرد ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، ارزن دانه‌ای، یونجه و شبدر در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)؛ این در حالی بود که در ذرت (دانه‌ای و علوفه‌ای)، یونجه و شبدر تمام سطوح تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد شد درحالی‌که در سورگوم علوفه‌ای، سورگوم دانه‌ای و ارزن دانه‌ای فقط تحت شرایط تنش شدید کاهش معنی‌دار عملکرد مشاهده شد (جدول ۳ و شکل‌های ۱ تا ۷).

جدول ۲- تغییرات عملکرد گیاهان زراعی موردبررسی تحت تأثیر تنش خشکی

Table 2- Yield changes of the studied crops as affected by drought stress

محصول زراعی Crop	تغییرات عملکرد Yield changes (%)	فاصله اطمینان Confidence interval	سطح احتمال معنی‌داری Significant probability level
سورگوم دانه‌ای Grain sorghum	-16.30	±14.72	*
سورگوم علوفه‌ای Forage sorghum	-18.27	±15.04	*
ذرت دانه‌ای Grain maize	-31.75	±13.75	**
ذرت علوفه‌ای Forage maize	-33.24	±16.75	**
ارزن دانه‌ای Grain millet	-25.66	±15.63	**
یونجه Alfalfa	-30.79	±16.82	**
شبدر Clover	-32.14	±16.09	**

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- میانگین عملکرد گیاهان زراعی موردبررسی (بر حسب تن در هکتار) تحت شرایط آبیاری نرمال، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید

Table 3- Mean yield of studied crops (ton ha^{-1}) under normal irrigation, moderate drought and severe drought stress

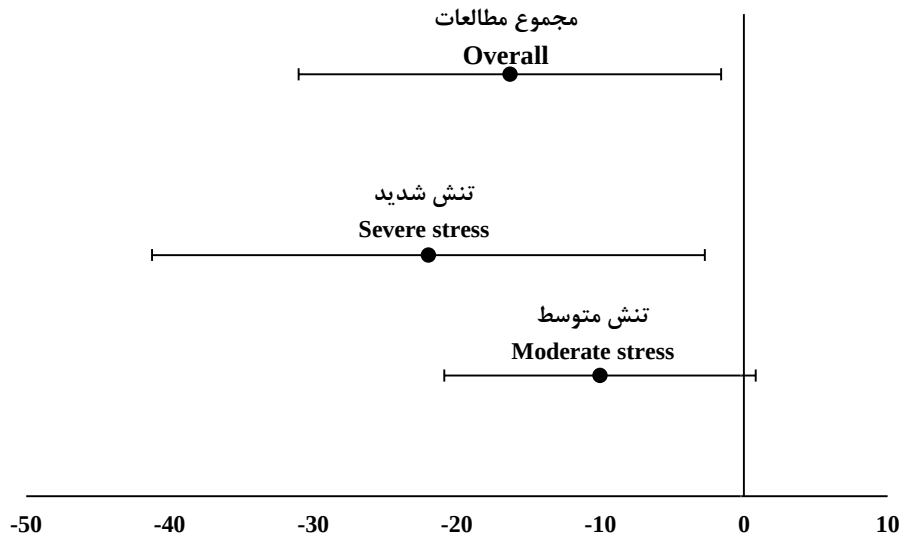
محصول زراعی† Crop†	آبیاری نرمال Normal irrigation	تنش خشکی متوسط Moderate drought stress	تنش خشکی شدید Severe drought stress
سورگوم دانه‌ای Grain sorghum	6.16	5.54	4.81
سورگوم علوفه‌ای Forage sorghum	14.08	12.41	10.50
ذرت دانه‌ای Grain maize	7.69	6.29	4.68
ذرت علوفه‌ای Forage maize	14.75	11.76	8.65
ارزن دانه‌ای Grain millet	3.12	2.68	2.10
یونجه Alfalfa	13.44	10.79	8.05
شبدر Clover	11.70	9.32	6.78

† عملکرد گیاهان علوفه‌ای بر مبنای ماده خشک است.

† The yield of forage crops is based on dry matter.

سورگوم دانه‌ای

با توجه به نتایج فراتحلیل ۱۸ مطالعه انجام‌شده در مورد ارزیابی تأثیر تنش خشکی بر سورگوم دانه‌ای، به‌طورکلی این تنش غیرزیستی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه سورگوم به میزان ۱۶/۳۰- درصد شد (شکل ۱). تنش خشکی متوسط باعث کاهش غیرمعنی‌دار عملکرد دانه سورگوم به میزان ۱۰/۰۳- درصد (در مقایسه با شاهد بدون تنش) شد. درحالی‌که تحت تنش خشکی شدید، عملکرد دانه سورگوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این افت عملکرد نسبت به شرایط بدون تنش معادل ۲۱/۹۸- درصد بود (شکل ۱ و جدول ۳).



شکل ۱- تغییرات عملکرد دانه سورگوم (درصد) تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش

Figure 1- Changes in sorghum grain yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

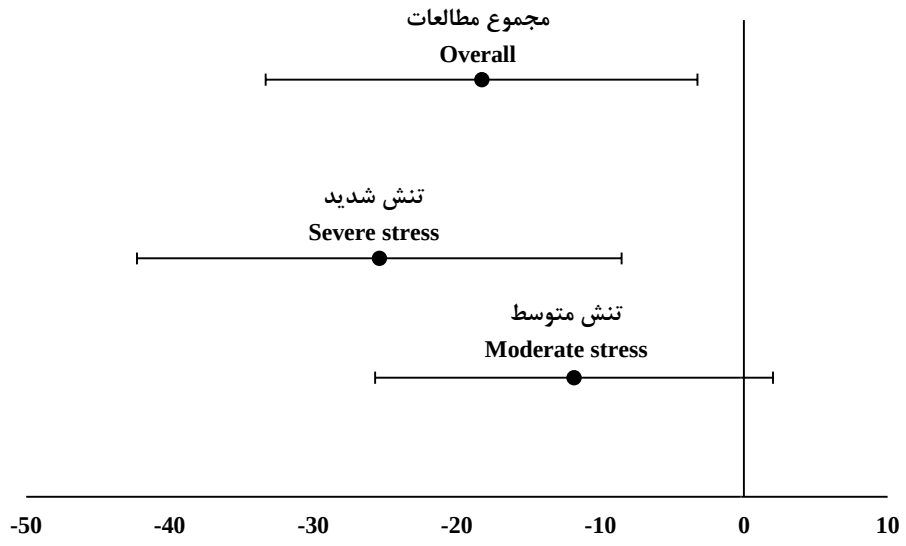
با توجه به نتایج این فراتحلیل به نظر می‌رسد سورگوم دانه‌ای در برابر تنش خشکی مقاوم است و تنش خشکی متوسط نمی‌تواند عملکرد دانه آن را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. سورگوم با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصربه‌فرد خود به‌عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان زراعی در شرایط گرم و دشوار آبیاری مقاوم‌تر بوده و نیاز آبی کمتری دارد (Farhadi *et al*., 2022; Khazaei *et al*., 2021). سورگوم می‌تواند تحت شرایط تنش خشکی شدید، سرعت رشد خود را کاهش داده یا متوقف کند و پس از بهبود شرایط رطوبتی با سرعتی مضاعف رشد خود را بهبود بخشد (Ashoori *et al*., 2021; Khalilian *et al*., 2022). در بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای گزارش شد که میزان کاهش عملکرد دانه رقم فومن (KGS23) تحت تنش خشکی متوسط ۱۸ درصد و تحت تنش خشکی شدید ۳۶ درصد بود (Khazaei, 2019). در مطالعه‌ای دیگر تأثیر تنش خشکی بر لاین‌های امیدبخش سورگوم دومنظوره دانه‌ای-علوفه‌ای بررسی شد و مشخص گردید میزان کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب ۲۱ و ۴۴ درصد بود (Khazaei, 2020). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه سورگوم گزارش شد که با قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، عملکرد دانه به میزان ۴۲ درصد کاهش یافت و فرایند انتقال مجدد تحت شرایط قطع آبیاری باعث افزایش تحمل به خشکی و اُفت کمتر عملکرد در ژنوتیپ‌های سورگوم شد (Azarinasrabad *et al*., 2021).

سورگوم علوفه‌ای

نتایج فراتحلیل ۲۱ مطالعه انجام‌شده در رابطه با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه سورگوم، نشان داد که این عامل محیطی به‌طورکلی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه به میزان ۱۸/۲۷- درصد شد (شکل ۲). در شرایط تنش متوسط، عملکرد

علوفه سورگوم به میزان ۱۱/۸۴- درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش یافت ولی این افت عملکرد معنی‌دار نبود. درحالی‌که تحت تنش خشکی شدید، عملکرد علوفه سورگوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این افت عملکرد نسبت به شرایط بدون تنش معادل ۲۵/۴۱- درصد بود (شکل ۲ و جدول ۳). به نظر می‌رسد سورگوم علوفه‌ای در برابر تنش خشکی مقاوم است و تنش متوسط رطوبتی نمی‌تواند عملکرد علوفه آن را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد.

در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای گزارش شد که عملکرد علوفه سورگوم در شرایط تنش متوسط اختلاف معنی‌داری با شرایط آبیاری نرمال نداشت (Raei *et al.*, 2014). در مطالعه دیگری نشان داده شد که تنش کم‌آبی به طور معنی‌داری سبب کاهش عملکرد سورگوم علوفه‌ای شد به نحوی که در شرایط تنش خشکی شدید ۴۷ درصد و در شرایط تنش خشکی متوسط ۱۷ درصد افت عملکرد نسبت به شرایط آبیاری معمول مشاهده شد (Abdi and Habibi, 2018). تحت شرایط تنش خشکیِ ناشی از آبیاری جویچه‌ایِ یک‌درمیان، عملکرد علوفه سورگوم و تاج‌خروس علوفه‌ای به‌ترتیب حدود ۱۰/۶ و ۲۶/۸ درصد نسبت به آبیاری جویچه‌ایِ تمامِ خطوط کاهش یافت و اُفت کمتر عملکرد سورگوم به سیستم ریشه‌ای گسترده این گیاه نسبت داده شد (Baghdadi *et al.*, 2021). در مطالعه دیگری نیز تحمل به خشکی ارقام سورگوم با مکانیسم اجتناب از تنش آن‌ها به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق مرتبط بود (Habyarimana *et al.*, 2004).



شکل ۲- تغییرات عملکرد علوفه سورگوم (درصد) تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش

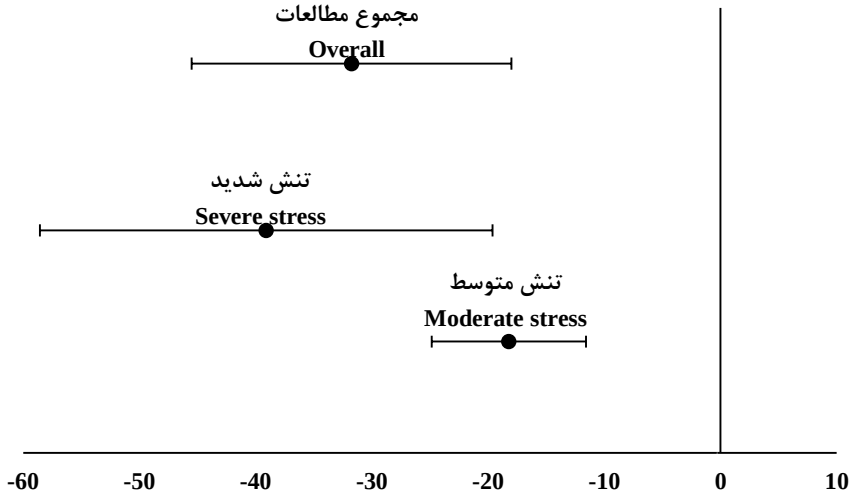
Figure 2- Changes in sorghum forage yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

ذرت دانه‌ای

بر اساس نتایج فراتحلیل مربوط به نتایج ۲۸ مطالعه انجام شده در رابطه با تنش خشکی و تأثیر آن بر عملکرد دانه ذرت، تنش خشکی به‌طورکلی باعث تغییرات عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری به میزان ۳۱/۷۵- درصد گردید. در شرایط تنش متوسط عملکرد دانه ذرت به میزان ۱۸/۲۱ درصد در مقایسه با شرایط عدم تنش، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). هم‌چنین تحت تنش شدید خشکی میزان افت عملکرد دانه ذرت حدود ۳۹/۰۹ درصد برآورد گردید که این مقدار نیز معنی‌دار بود (شکل ۳ و جدول ۳).

به نظر می‌رسد گیاه ذرت برای تولید دانه به شرایط کمبود رطوبت بسیار حساس است و حتی در شرایط تنش خفیف نیز کاهش عملکرد دارد. بر اساس بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در رابطه با تنش خشکی در ذرت، برای دست‌یابی به حداکثر محصول در مزرعه ذرت عملیات آبیاری باید پیش از آن‌که کاهش رطوبت منطقه ریشه به مقدار ۴۰ تا ۵۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده گیاه برسد صورت گیرد. تنش خشکی با کاهش جذب مواد غذایی از خاک، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را کاهش داده و محدودیت تولید آسیمیلات‌ها، به کاهش رشد و بیوماس تولیدی منجر می‌شود

(Nematpour *et al.*, 2020). علاوه بر این بررسی‌ها نشان داده است که تنش خشکی باعث تخریب غشای سلولی، تجمع اسیدهای آمینه، آسیب به رنگیزه‌ها و پلاستیدها، کاهش محتوی کلروفیل، کاهش نرخ فتوسنتز، کاهش رشد ریشه‌ها و برگ‌ها و در نهایت اُفت عملکرد گیاه می‌شود (Golzardi *et al.*, 2012; Fathirezaee *et al.*, 2021; Baghdadi *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای حداکثر و حداقل عملکرد دانه ذرت (به‌ترتیب ۷/۶۴ و ۳/۳۴ تن در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی شدید به دست آمد و میزان کاهش عملکرد تحت تنش شدید حدود ۵۶ درصد بود (Mahrokh, 2019). هم‌چنین گزارش شد که میزان کاهش عملکرد دانه ذرت تحت تنش خشکی متوسط و شدید (انجام آبیاری پس از ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاهی) نسبت به تیمار آبیاری نرمال (پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق) به‌ترتیب برابر ۱۲/۳ و ۲۷/۷ درصد بود (Golzardi *et al.*, 2017).



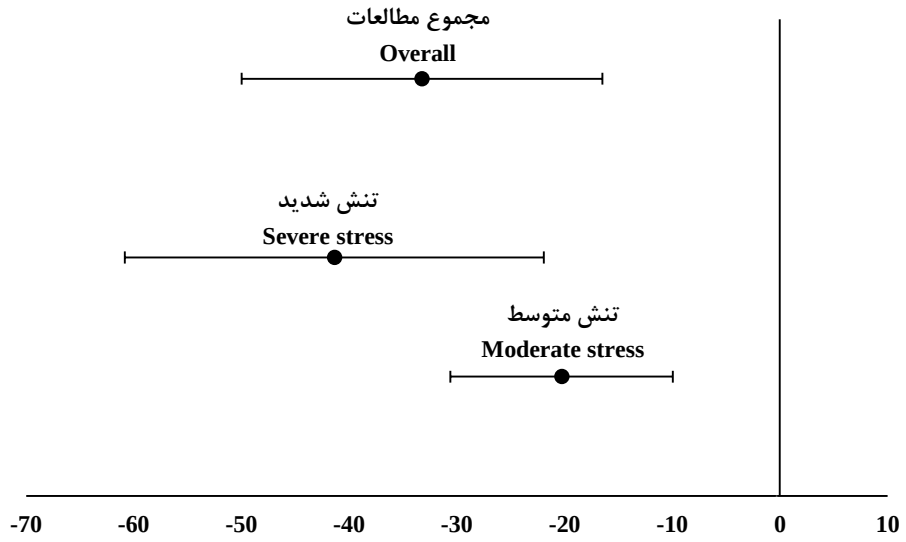
شکل ۳- تغییرات عملکرد دانه ذرت (درصد) تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش

Figure 3- Changes in maize grain yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

ذرت علوفه‌ای

بر اساس نتایج فراتحلیل مربوط به نتایج ۲۳ مطالعه انجام شده در رابطه با تنش خشکی و تأثیر آن بر عملکرد علوفه ذرت، تنش خشکی به‌طورکلی باعث تغییرات عملکرد علوفه به‌طور معنی‌داری به میزان ۳۳/۲۴- درصد گردید (شکل ۴). در شرایط تنش متوسط عملکرد علوفه ۲۰/۲۷ درصد در مقایسه با شرایط عدم تنش، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تحت شرایط تنش خشکی شدید نیز عملکرد علوفه ذرت به طور معنی‌داری به میزان ۴۱/۳۷ درصد اُفت کرد (شکل ۴ و جدول ۳). گیاه ذرت برای تولید علوفه به شرایط کمبود رطوبت بسیار حساس است و حتی در شرایط تنش خفیف نیز کاهش عملکرد دارد. بر اساس بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در رابطه با تنش خشکی در ذرت، برای دست‌یابی به حداکثر محصول در مزرعه ذرت عملیات آبیاری باید پیش از آن‌که کاهش رطوبت منطقه ریشه به مقدار ۴۰ تا ۵۰ درصد رطوبت قابل‌استفاده گیاه برسد صورت گیرد (Golzardi *et al.*, 2017).

نتایج فراتحلیل ۱۲۰ مطالعه در مورد اثر تنش خشکی و گرما بر محصولات زراعی نشان داد که این تنش‌های محیطی با کاهشِ شاخص برداشت، کوتاه شدن چرخه زندگی گیاه و تغییر تعداد و اندازه بذر باعث اُفت عملکرد شده‌اند و اگر تنش در مرحله زایشی اعمال شود، این تأثیرات شدیدتر است (Cohen *et al.*, 2020). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنش خشکی بر هیبریدهای ذرت گزارش شد که بیشترین عملکرد علوفه تر متعلق به تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک کلاس A بود و تیمارهای آبیاری پس از ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش عملکردی به‌ترتیب ۱۳ و ۲۷ درصدی نسبت به تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر نشان دادند (Hajibabaei *et al.*, 2012).

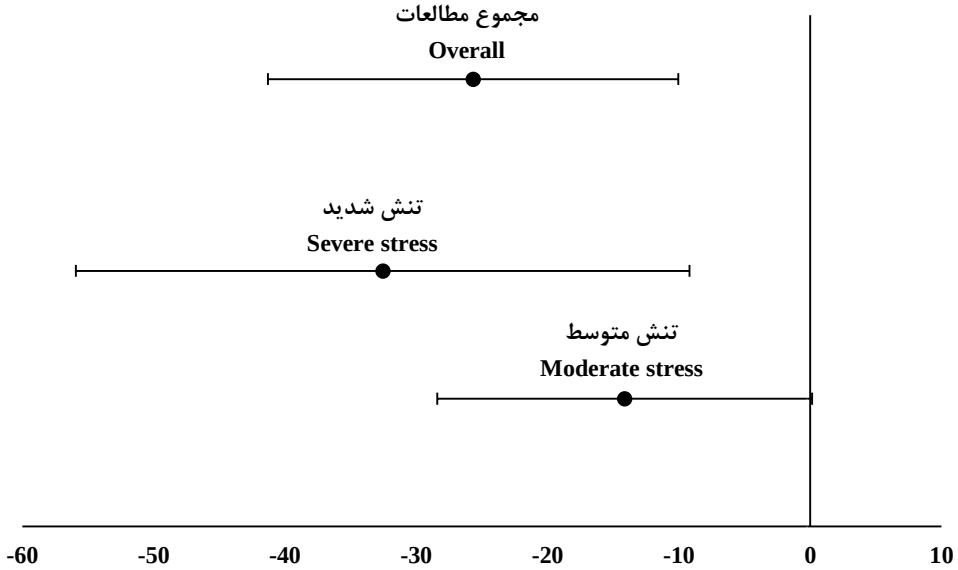


شکل ۴- تغییرات عملکرد علوفه ذرت (درصد) تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش

Figure 4- Changes in maize forage yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

ارزن دانه‌ای

بر اساس نتایج فراتحلیل مربوط به نتایج ۱۸ مطالعه انجام شده در رابطه با تنش خشکی و تأثیر آن بر عملکرد دانه ارزن، به‌طورکلی تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش باعث کاهش عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری به میزان ۲۵/۶۶- درصد گردید (شکل ۵). عملکرد دانه ارزن تحت تنش خشکی متوسط نسبت به شرایط بدون تنش به میزان ۱۴/۱۳ درصد کاهش یافت ولی این اُفت عملکرد معنی‌دار نبود. این در حالی است که با افزایش شدت تنش (تحت تنش خشکی شدید) عملکرد دانه ارزن حدود ۳۲/۵۵ درصد کاهش یافت که این مقدار معنی‌دار نیز بود (شکل ۵ و جدول ۳).



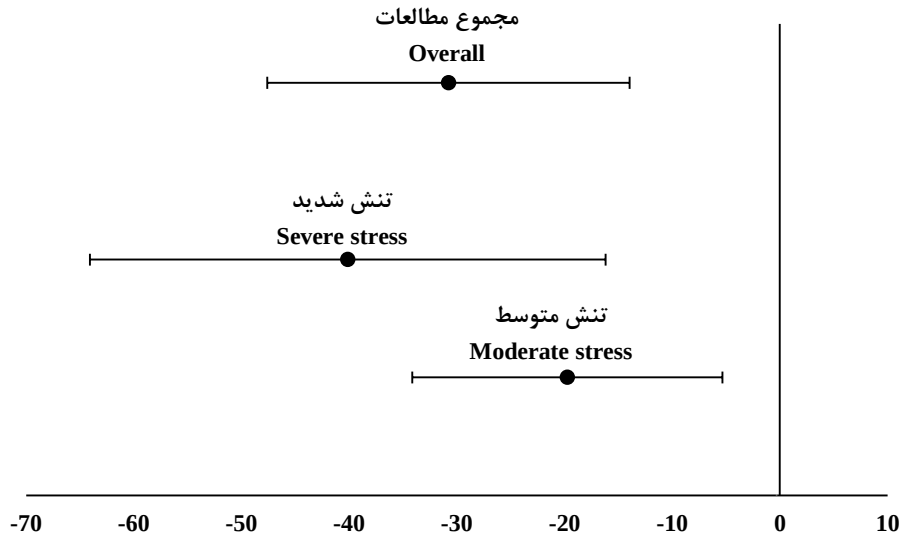
شکل ۵- تغییرات عملکرد دانه ارزن (درصد) تحت تأثیر سطوح مختلف تنش‌های رطوبتی در مقایسه با شرایط بدون تنش

Figure 5- Changes in millet grain yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

از نتایج فراتحلیل تأثیر تنش خشکی بر عملکرد ارزن دانه‌ای چنین استنباط می‌شود که به دلیل مقاومت به خشکی نسبتاً بالای این محصول، بین شرایط بدون تنش و تنش خشکی متوسط تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد وجود ندارد. در مطالعه‌ای گزارش شد که تفاوت عملکرد ارزن دانه‌ای بین دو شرایط دور آبیاری ۷ روزه با ۱۴ روزه فقط ۵۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که این میزان حدود ۲ درصد عملکرد دانه است، درحالی‌که وقتی دور آبیاری به ۲۱ روز افزایش یافت و تنش شدید اعمال گردید میزان کاهش عملکرد به حدود ۲۰ درصد افزایش یافت (Hayati and Ramroudi, 2015). بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دو رقم ارزن نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۷۱۱ کیلوگرم در هکتار) با آبیاری کامل و در رقم باستان حاصل شد (Ghasemi and Arfania, 2021). همچنین گزارش شده است که میزان کاهش عملکرد دانه ارزن در شرایط تنش شدید نسبت به شرایط نرمال در حدود ۴۵ درصد بود، این در حالی است که عملکرد ارزن دانه‌ای در شرایط تنش ملایم نسبت به شرایط نرمال فقط ۲۵ درصد کاهش را نشان داد (Khodabandehloo *et al.*, 2015).

یونجه

نتایج فراتحلیل ۱۷ مطالعه انجام‌شده در رابطه با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه یونجه، نشان داد که این عامل محیطی به‌طورکلی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه به میزان ۳۰/۷۹- درصد شد (شکل ۶). در شرایط تنش متوسط، عملکرد علوفه یونجه به میزان ۱۹/۷۴- درصد در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش یافت که این افت عملکرد معنی‌دار بود. این درحالی است که تحت تنش خشکی شدید، عملکرد علوفه یونجه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و این افت عملکرد نسبت به شرایط بدون تنش معادل ۴۰/۱۳- درصد بود (شکل ۶ و جدول ۳). به نظر می‌رسد یونجه در برابر تنش خشکی افت عملکرد معنی‌داری دارد این در حالی است که میزان بهره‌وری تولید علوفه و میزان بهره‌وری کل زیست‌توده شامل اندام هوایی و طوقه و ریشه می‌بایست موردبررسی قرار گیرد.



شکل ۶- تغییرات عملکرد علوفه یونجه (درصد) تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش

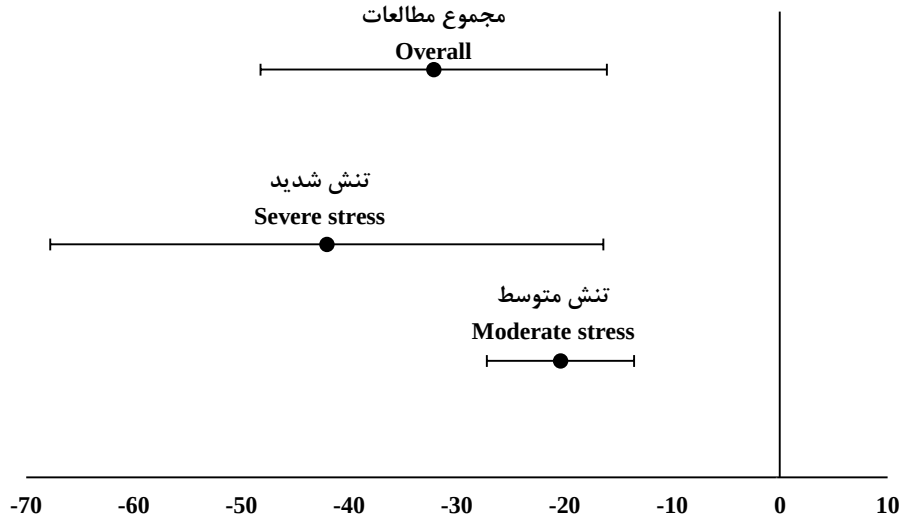
Figure 6- Changes in alfalfa forage yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

نتایج بررسی تحمل به خشکی در یازده اکوتیپ یونجه همدانی نشان داد که میزان اُفت عملکرد علوفه در ژنوتیپ‌های مختلف، بسیار متفاوت بود به‌نحوی‌که حداکثر کاهش عملکرد تحت تنش خشکی (۳۴/۳- درصد) مربوط به اکوتیپ اردوباد و حداقل آن (۹/۳- درصد) مربوط به اکوتیپ ملک‌کندی بود (Beheshti, 2016). نتایج بررسی اثر قطع آبیاری بر عملکرد

اکوتیپ‌های یونجه نشان داد که قطع آب به مدت ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز، عملکرد ماده خشک را به ترتیب ۱۳، ۲۰ و ۲۵ درصد نسبت به شاهد (آبیاری کامل) کاهش داد (Mofidian *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای دیگر با افزایش شدت تنش خشکی، وزن خشک ریشه یونجه افزایش یافت و این تغییر سبب افزایش تحمل گیاه در برابر کم‌آبی شد. در این مطالعه مشخص شد که اکوتیپ‌های گرمسیری به علت سرعت رشد مجدد بالاتر، تحمل به خشکی بیشتری نسبت به اکوتیپ‌های سردسیری داشتند (Mofidian *et al.*, 2020).

شبدر

نتایج فراتحلیل ۲۰ مطالعه انجام‌شده در رابطه با اثر تنش خشکی بر عملکرد علوفه شبدر نشان داد که این فاکتور به‌طورکلی باعث تغییرات معنی‌دار عملکرد علوفه شبدر به میزان ۳۲/۱۴- درصد شد (شکل ۷). تنش خشکی شدید باعث بیشترین کاهش عملکرد علوفه شبدر (۴۲/۰۸- درصد) شد درحالی‌که این افت عملکرد تحت تنش خشکی متوسط معادل با ۲۰/۳۷- درصد بود. هرچند تفاوت بین دو سطح تنش غیرمعنی‌دار بود ولی تفاوت آن‌ها با شرایط بدون تنش معنی‌دار شد (شکل ۷ و جدول ۳). این نشان می‌دهد که حتی تنش خشکی متوسط نیز باعث افت معنی‌دار عملکرد علوفه شبدر شده است. از علل کاهش عملکرد شبدر در شرایط تنش خشکی می‌توان به زود گل‌دهی و کاهش دوره رشد، کاهش ارتفاع بوته، کاهش تعداد برگ، افزایش تنفس گیاه و کاهش فتوسنتز خالص و در نهایت کاهش تولید ماده خشک اشاره نمود (Ashoori *et al.*, 2021; Balazadeh *et al.*, 2021).



شکل ۷- تغییرات عملکرد علوفه شبدر (درصد) تحت تأثیر تنش خشکی در مقایسه با بدون تنش

Figure 7- Changes in clover forage yield (%) affected by drought stress compared to non-stress conditions

بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد علوفه ارقام مختلف شبدر برسیم و ایرانی نشان داد که تحت تنش خشکی متوسط میزان اُفت عملکرد ماده خشک در ارقام مختلف بین ۱۱/۹ تا ۲۸/۱ درصد و تحت تنش خشکی شدید بین ۳۳/۳ تا ۴۸/۶ درصد بود (Balazadeh *et al.*, 2021). نتایج مقایسه ارقام شبدر برسیم و ایرانی تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه در شرایط نرمال و تنش توسط ژنوتیپ‌های شبدر برسیم حاصل شد و این گونه شبدر مقاومت بیشتری در برابر تنش خشکی داشت (Zamanian, 2017). در بررسی تأثیر تنش خشکی بر تولید علوفه شبدر برسیم گزارش شد که عملکرد زیست‌توده در شرایط تنش حدود یک‌سومِ عملکرد زیست‌توده در شرایط نرمال بود و کاهش عملکرد با زودگل‌دهی، افزایش تنفس و کاهش سطح برگ شبدر در شرایط تنش مرتبط بود (Lazaridou and Koutroubas, 2004). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی با تأثیر بر رشد اولیه و ساختار بوتانیکی شبدر، عملکرد علوفه آن را کاهش می‌دهد و حساسیت متفاوت گونه‌ها به تنش

خشکی با اختلاف در اندازه گیاهچه‌ها و میزان رشد آن‌ها در شروع تنش خشکی مرتبط است (Chapman *et al*., 2000).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش فراتحلیل، با توجه به اینکه تأثیر تنش خشکی بر درصد کاهش عملکرد در هر هفت گیاه ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، سورگوم دانه‌ای، سورگوم علوفه‌ای، ارزن دانه‌ای، یونجه و شبدر معنی‌دار بود، بنابراین عدم تأمین نیاز آبی می‌تواند عملکرد در هر هفت گیاه مذکور را کاهش دهد و هیچ‌کدام از این گیاهان توان مقابله کامل با تنش خشکی را ندارند و قطعاً کاهش عملکرد وجود خواهد داشت، ولی میزان تحمل به خشکی در این گیاهان متفاوت است، به‌طوری‌که ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، یونجه و شبدر با هر سطحی از تنش خشکی کاهش عملکرد داشتند درحالی‌که در سورگوم دانه‌ای و علوفه‌ای و ارزن دانه‌ای فقط تحت شرایط تنش خشکی شدید درصد تغییرات عملکرد معنی‌دار بود و تنش خشکی متوسط نتوانست عملکرد آن‌ها را به طور معنی‌داری کاهش دهد؛ بنابراین در مناطقی که محدودیت منابع آب آبیاری وجود دارد، کشت و توسعه ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، یونجه و شبدر بدون کاهش معنی‌دار عملکرد امکان‌پذیر نخواهد بود. به طور کلی با توجه به یافته‌های این فراتحلیل در مناطقی که با محدودیت آب آبیاری مواجه هستند و احتمال ایجاد شرایط تنش خشکی وجود دارد، کشت سورگوم و ارزن با تحمل آستانه تنش خشکی متوسط قابل‌توصیه خواهد بود.

قدردانی

این مطالعه توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و با حمایت مالی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (پروژه خاص جریان‌ساز با کد مصوب ۹۷۰۱۷۴ – ۰۱۷- ۰۳-۰۳- ۰۴) انجام شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های ریاست و کارکنان محترم این مؤسسه/سازمان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abdi, M. and Habibi, M. 2018. Effect of drought stress on quantitative and qualitative traits of two forage sorghum cultivars in Jiroft region. *Journal of Agroecology*, 13(3): 35-40. (In Persian).

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J. and Ilkaee, M.N. 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, 80: e1421.

Azarinasrabad, A., Mousavinik, S., Galavi, M., Beheshti, S. and Siroosmehr, A. 2021. Effect of drought stress at different growth stages on dry matter remobilization in grain sorghum genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2): 167-177. (In Persian).

Baghdadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Hashemi, M. and Ilkaee, M.N. 2021. Suitability and 'benefits from intercropped sorghum–amaranth under partial root-zone irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(14): 5918-5926.

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Mohammadi Torkashvand, A. 2021. Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to Berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(16): 1927-1942.

Beheshti, A. 2016. Evaluation of drought tolerance in Hamedani alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes by tolerance and sensitivity indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 9(3): 257-266. (In Persian).

Chapman, R., Ridsdill-Smith, T.G. and Turner, C.N. 2000. Water stress and redlegged earth mites affect the early growth of seedlings in a subterranean clover/capeweed pasture community. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(3): 361-370.

Cohen, I., Zandalinas, S.I., Fritschi, F.B., Sengupta, S., Fichman, Y., Azad, R.K. and Mittler, R. 2020. The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology, and seed production of soybean. *Plant Physiology*, 171(1): 66-76.

Elsayir, H.A. 2015. Significance test in meta-analysis approach: A theoretical review. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 4(6): 630-639.

Farhadi, A., Paknejad, F., Golzardi, F., Ilkaee, M.N. and 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(5): 576-589.

Fathirezaee, V., Shakiba, M., Dabbagh Mohammadi Nassab, A. and Toorchi, M. 2021. Evaluation of grain yield and some physiological characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit and molybdenum. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2): 167-180. (In Persian).

Ghasemi, A. and Arfania, H. 2021. The effect of drought stress and planting date on morphophysiological traits and yield in two varieties of millet. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 11(1): 133-148. (In Persian).

Golzardi, F., Vazan, S., Moosavinia, H. and Tohidloo, G. 2012. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of swallowwort (*Cynanchum acutum* L.). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(21): 4524-4529.

Golzardi, F., Baghdadi, A. and Keshavarz Afshar, R. 2017. Alternate furrow irrigation affects yield and water-use efficiency of maize under deficit irrigation. *Crop and Pasture Science*, 68(8): 726-734.

Habyarimana, E., Laureti, D., De Ninno, M. and Lorenzoni, C. 2004. Performances of biomass sorghum under different water regimes in Mediterranean region. *Industrial Crops and Products*, 20: 23-28.

Hajibabaei, M., Azizi, F. and Zargari, K. 2012. The effect of drought stress on fresh forage yield and some agronomic traits of different maize hybrids. *Plant Ecosystem*, 7(25): 45-75.

Hayati, A. and Ramroudi, M. 2015. The foxtail millet (*Setaria italica*) response to time of potassium application under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8(1): 25-33. (In Persian).

Khalilian, M.E., Habibi, D., Golzardi, F., Aghayari, F. and Khazaei, A. 2022. Effect of maturity stage on yield, morphological characteristics, and feed value of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars. *Cereal Research Communications*, 50: 4.

Khaliliaqdam, N., Hasani, R. and Mir Mahmoudi, T. 2018. Meta-analysis of some effective factors on wheat production in Iran. *Journal of Crop Improvement*, 20(1): 191-204. (In Persian).

Khazaei, A. 2019. Effect of deficit irrigation and within row spacing on morphological traits and grain yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) promising lines. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(2): 96-108. (In Persian).

Khazaei, A. 2020. Evaluation of yield of promising dual purpose grain-forage sorghum lines (*Sorghum bicolor* L. Moench) using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 22(3): 275-290. (In Persian).

Khazaei, A., Golzardi, F., Torabi, M., Fyzbakhsh, M., Azari Nasrabad, A., Ghasemi, A., Nazari, L. and Motaghi, M. 2021. Evaluation of the yield stability of grain sorghum genotypes using AMMI analysis in different regions of Iran. *Cereal Research*, 11(1): 77-88.

Khodabandehloo, Sh., Sepehri, A., Ahmadvand G. and Keshtkar, A.H. 2015. The effect of silicon application on grain yield of millet and water use efficiency under drought stress. *Journal of Crop Improvement*, 16(2): 399-416. (In Persian).

Lazaridou, M. and Koutroubas, S.D. 2004. Drought on water use efficiency of berseem clover at various growth stages. *4th International Crop Science Congress*, 26 September – 1 October 2004. Brisbane, Australia.

Mahrokh, A. 2019. Yield and yield components of four maize hybrids with different stomata resistance in response to drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(3): 99-110. (In Persian).

Mofidian, S.M.A., Ahmadi, J. and Moghaddam, A. 2019. Physiological response of some important alfalfa ecotypes to water-limited conditions. *Applied Research in Field Crops*, 32(3): 18-39. (In Persian).

Mofidian, S.M.A., Ahmadi, J. and Moghaddam, A. 2020. Effect of drought stress on the induction of summer dormancy and dry matter partitioning in alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes. *Iranian Journal of Crop Science*, 22(1): 94-107.

Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M. and Makowski, D. 2014. Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal-legume intercrops production. *Agronomy Journal*, 106(5): 1775-1786.

Raei, Y., Jorat, M., Moghaddam, H., Chaichi, M.R. and Weisany, V. 2014. Effect of density on connotative and collective yield of forage sorghum under water limitation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4): 51-65. (In Persian).

Razaji, A., Panknejad, F., Moarefi, M., Mahdavi Damghani, A. and Ilkaee, M. 2020. Meta-analytical study of the effect of drought stress on cotton's performance and its components in Iran. *Journal of Crop Ecophysiology*, 14(2): 157-172. (In Persian).

Soltani, E. and Soltani, A. 2014. Necessity of using meta-analysis in field crops researches. *Journal of Crop production*, 7(3): 203-216. (In Persian).

Sun, Y., Wang, C., Chen, H.Y.H. and Ruan, H. 2020. Response of plants to water stress: A meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 11: 978.

Sutton, A.J. and Higgins, J.P.T. 2008. Recent developments in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 27(5): 625-650.

Wang, J.Y., Xiong, Y.C., Li, F.M., Siddique, K.H.M. and Turner, N.C. 2017. Effects of drought stress on morphophysiological traits, biochemical characteristics, yield, and yield components in different ploidy wheat: a meta-analysis. *Advances in Agronomy*, 143: 139-173.

Zamanian, M. 2017. Investigation the effect of intercropping of Persian clover cultivars on quantitative and qualitative of forage yield. *Journal of Agroecology*, 6(2): 278-294. (In Persian).

Zhang, J., Zhang, Sh., Cheng, M., Jiang, X., Zhang, C., Peng, X., Zhang, M. and Jin, J. 2018. Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5): 839.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 389-403

A meta-analysis of drought stress impact on the yield of some important forage-grain crops in Iran

Farid Golzardi[1*], Ali Mahrokh[1], Farhad Azizi[1], Mohammad Zamanian[1], Seyed Mohammad Ali Mofidian[1], Vahid Rahjoo[1], Azim Khazaei[1], Ali Moghaddam[1], Vida Ghotbi[1], Masoud Torabi[2], Elias Soltani[3]

[1] Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[2] Horticulture and Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
[3] Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran

[*]Corresponding Author: F.golzardi@areeo.ac.ir

Received: 19 January 2022 Accepted: 9 March 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.325559.1183**

Abstract

Introduction: Climate change drastically reduces the amount of water available to plants and increases the severity and frequency of droughts. By the end of this century, it is anticipated that droughts will continue to increase significantly. Drought stress, as one of the major climate events, induces physiological and morphological alterations, which can restrict crop growth, yield, and quality. In recent years, separate research projects and studies in the country have evaluated the effects of drought stress on grain maize, forage maize, grain sorghum, forage sorghum, grain millet, alfalfa, and clover yields, as well as the effects of drought stress on their yield gap. However, if the results of these separate studies were evaluated together, it would have been possible to compare the drought sensitivity and tolerance of various crops. Consequently, the optimal crop to plant under drought-stress conditions in the nation's agroecosystems would be determined. The meta-analysis is a statistical analysis that can assess the aggregate effects of numerous studies conducted under varying conditions. In other words, meta-analysis is a statistical technique for integrating the findings of multiple studies in order to comprehend a problem. The purpose of this meta-analysis was to determine the impact of different drought stress levels on the yields of grain maize, forage maize, grain sorghum, forage sorghum, grain millet, alfalfa, and clover.

Materials and Methods: In this study, the data obtained from 145 final reports of the Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO) and published articles over the past decade were analyzed using the meta-analysis method. This included grain sorghum (18 studies), forage sorghum (21 studies), grain maize (28 studies), forage maize (23 studies), grain millet (18 studies), alfalfa (17 studies), and clover (20 studies). In addition to the difference in quantitative results between studies, the effect size variance was utilized in this method. Consequently, the means, standard deviations, and sample sizes (replications in each study) for the control and evaluated treatments were determined. After classifying the data, the reaction ratio (R) and its natural logarithm were calculated. Subsequently, the method determined which treatments have additive or decreasing effects on yield under drought stress conditions, as well as which treatments had no positive or negative impact on yield. Utilizing the T-test, a group comparison was conducted between the mean yield under drought stress conditions and the mean yield under normal irrigation conditions in order to determine the significance level of yield changes caused by drought stress. The statistical analysis and preparation of the figures were performed by Excel.

Results and Discussion: According to the findings of the meta-analysis, the overall effect of drought stress on the yield of all seven crops was significant for grain sorghum (-16.30%) (P<0.05), forage sorghum (-18.27%) (P<0.05), grain maize (-31.75%) (P<0.01), forage maize (-33.24%) (P<0.01), grain millet (-25.66%) (P<0.01), alfalfa (-30.79%) (P<0.01), and clover (-32.14%)

(P<0.01). The yield reductions in grain maize, forage maize, alfalfa, and clover were significant under all levels of drought stress, whereas grain sorghum, forage sorghum, and grain millet yield reductions were significant only under severe drought stress. The yields of grain sorghum, forage sorghum, grain maize, forage maize, grain millet, alfalfa, and clover decreased by 10.03, 11.84, 18.21, 20.27, 14.13, 19.74, and 20.37%, respectively, under moderate drought stress, and 21.98, 25.41, 39.09, 41.37, 32.55, 40.13, and 42.08%, respectively, under severe drought stress.
Conclusion: As a result, it is impossible to cultivate and develop grain maize, forage maize, alfalfa, and clover in areas with limited water resources without significantly reducing yield. According to the findings of this meta-analysis, grain sorghum, forage sorghum, and grain millet with a moderate drought stress tolerance threshold could be recommended for cultivation in regions where drought stress conditions are likely to occur.

Keywords: Alfalfa, Clover, Deficit irrigation, Maize, Millet, Sorghum