تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3377.1851

مقاله پژوهشی

تأثیرات تنش خشکی بر صفات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از فراتحلیل

ماریه بهداد[1*]، فرزاد پاک‌نژاد[2]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[3]، سعید وزان[4]، مریم معرفی[5]

۱. دکتری، رشته زراعت و اصلاح نباتات
۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج
۳. دانشیار، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۴. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج
۵. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اجزای عملکرد
اندازه اثر
تنش محیطی
شاخص کوهن

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۴/۲۸

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۵۳-۶۵

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین ریسک‌ها در تولید گندم در بسیاری از مناطق جهان بوده و به دلیل تأثیرات چندبعدی آن، یک نگرانی عمده در تحقق امنیت غذایی به شمار می‌رود. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر صفات زراعی گندم(*Triticum aestivum* L.) انجام شده است. بدین منظور با استفاده از روش فراتحلیل، نتایج پژوهش‌های مختلف مورد تحلیل آماری قرار گرفته است تا دیدگاهی کلی و قابل‌تعمیم در مورد اثر این تنش بر صفات زراعی این گیاه در شرایط مختلف ارائه شود. برای ایجاد بانک اطلاعات مورداستفاده در فراتحلیل، جستجوی بانک‌های اطلاعات علمی-پژوهشی مرتبط با اهداف تحقیق انجام شد و پس از بررسی و ارزیابی ۱۲۰ پژوهش، ۶۰ مقاله با موضوع بررسی صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله در شرایط تنش خشکی انتخاب‌شده و داده‌های آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی تفاوت بین تیمارها در مطالعات مختلف از شاخص اندازه اثر کوهن استفاده شده است. نتایج نشان داد تأثیر تنش خشکی در مورد تمامی صفات موردبررسی منفی و معنی‌دار بوده است. تغییرات اندازه اثر متغیر تنش خشکی بر صفات مزبور ۱/۹۲۴۸ تا ۴/۴۲۸۰ بوده است. نتایج نشان می‌دهند که در تمامی شرایط مطالعه شده، تنش خشکی بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشته و سایر صفات شامل وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت در رتبه‌های بعدی قرار دارند. تحلیل نتایج پژوهش‌ها ازنظر سوگیری و همگنی نشان می‌دهد که پژوهش‌های مربوط به تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله همگنی پایینی دارند که حاکی از سوگیری مطالعات است.

مقدمه

گیاهان در طول دوره زندگی خود در معرض عوامل تنش‌زای متعددی قرار می‌گیرند که تأثیر بسیاری بر رشد و نمو آن‌ها دارد. خشکی، گونه‌ای از ریسک‌های کشاورزی است که موجب کاهش عملکرد محصول و محدود شدن قابلیت تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان می‌شود (Zahoor et al., 2018). تأثیر تنش خشکی بر گیاه به‌صورت‌های مختلفی مانند وضعیت پنجه‌زنی، شرایط فتوسنتز در برگ‌ها، وضعیت ظاهری و تغییر رنگ برگ‌ها، تعداد دانه و اندازه دانه دیده می‌شود (Naseri et al., 2014).

با توجه به تعدد مطالعات مرتبط با تنش‌های خشکی در سطح میدانی، داشتن یک دیدگاه کلی از تحقیقات انجام‌گرفته، نقاط قوت و ضعف پژوهش‌ها، قابلیت تعمیم و نیز تبدیل آن‌ها به توصیه‌های کاربردی در مدیریت زراعی ضروری است. رهیافت فراتحلیل از معدود شیوه‌های مطالعاتی است که امکان دستیابی به اهداف فوق را از طریق تحلیل حجم

* نگارنده پاسخگو: ماریه بهداد. پست الکترونیک: mbehdad2013@gmail.com

وسیعی از داده‌ها، آزمون‌های آماری به‌منظور یکنواخت‌سازی نتایج آزمایش‌های مختلف، رفع محدودیت‌های مکانی و زمانی آزمایش‌ها و ارائه نتیجه‌گیری قابل‌تعمیم از نحوه و پویایی تأثیر تنش‌ها بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کارکردی گیاه زراعی فراهم می‌کند. این رهیافت، با حذف محدودیت‌های گوناگون مطالعاتی (مانند مکان، اقلیم، ژنتیک و غیره) موجب افزایش قابلیت تعمیم نتایج پژوهش‌ها شده و از طرفی قابلیت پیش‌بینی زیادی برای برنامه‌ریزی پژوهشی ایجاد می‌نماید. همچنین با استفاده از این رهیافت می‌توان ارزیابی مناسبی از شرایط آزمایشی مانند خطا یا گرایش پژوهش‌گران، همنوایی نتایج و ارائه یک مدل کلی از روابط بین متغیرها در شرایط گوناگون ارائه نمود.

علاوه بر آن، این رهیافت ابزار مناسبی در ارزیابی دقت و صحت پژوهش‌ها و میزان سوگیری آن‌ها در تائید یا رد نتایج بوده و تحلیل داده‌های وسیع میدانی با استفاده از فراتحلیل می‌تواند در ارائه الگوهای مناسب مدیریت زراعی و توصیه‌های قابل‌قبول در جهت افزایش عملکرد و کارایی عملیات کشاورزی به‌ویژه در سطح کلان بکار گرفته شوند. این رهیافت به نحو گسترده‌ای در ارزیابی فرضیه‌های اکولوژی زراعی، برآورد اثر عوامل محیطی مانند تغییرات اقلیمی، گونه‌های غیربومی، تغییرات زیستگاهی، آلودگی‌ها و نیز ارزیابی راهبردهای مدیریت و حفاظت گیاهی استفاده می‌شود (Gurevitch et al., 2018). از پژوهش‌های مرتبط با کاربرد این رهیافت در زراعت گندم می‌توان به بررسی تأثیر خشکی بر صفات زراعی گندم و برنج اشاره کرد که بدون استفاده از داده‌های جدید، نشان داد تأثیر تنش خشکی بر کاهش صفات زراعی گندم و برنج به لحاظ مرحله رشد متفاوت است (Zhang et al. 2018). همچنین در بررسی تغییرات ناشی از کاهش یا افزایش دی‌اکسید کربن بر ترکیبات دانه گندم از این رهیافت برای ارزیابی دامنه تأثیر و معنی‌داری تغییرات گاز مزبور بر محتوای غذایی گندم استفاده شده است (Broberg et al., 2017). علاوه بر آن، این روش به نحو مؤثری در بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم، تحلیل اثرات و ارائه مدل تأثیر تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای بر عملکرد مورداستفاده قرار گرفته است (Wilcox et al., 2014). از مطالعات داخل کشور می‌توان به مطالعه کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2017) در موردبررسی مصرف کود شیمیایی نیتروژن در غلات اشاره کرد که یافته‌های آن نشان می‌دهند به‌طورکلی میانگین کارایی مصرف یا بهره‌وری نیتروژن پایین است و مطالعات موجود نیز نتایج پراکنده و متنوعی دارند. همچنین خلیلی اقدم و همکاران (Khaliliaqdam et al., 2018) با بررسی برخی عوامل مؤثر بر عملکرد گندم، نسبت تأثیر عوامل مختلف مانند پرایمینگ، عملیات خاک‌ورزی و شیوه آبیاری در میان عوامل مختلف نشان دادند.

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تنش خشکی بر روی صفات مختلف گندم بر اساس داده‌های پژوهش‌های گوناگون انجام شده است. تحلیل داده‌های میدانی با استفاده از روش فراتحلیل می‌تواند در ارائه الگوهای مناسب مدیریت زراعی و توصیه‌های قابل‌قبول در جهت افزایش عملکرد و کارایی عملیات کشاورزی بکار گرفته شوند.

مواد و روش‌ها

منابع داده‌ها

به‌منظور دستیابی به داده‌های لازم برای انجام تحقیق حاضر، بانک‌های اطلاعاتی پژوهش‌های زراعی با کلیدواژه‌های گندم، تنش خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد مورد جستجو قرار گرفت. سپس یک بانک اطلاعات از ۱۲۰ پژوهشی-دانشگاهی چاپ‌شده با موضوع تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم تهیه و پس از ارزیابی، داده‌های ۶۰ مقاله بر اساس نوع صفات موردنظر در پژوهش در تحلیل بکار گرفته شد. معیارهای ارزیابی و انتخاب مقالات شامل محصول مشترک (گندم)، وجود اطلاعات مربوط به تیمار و شاهد، تنش خشکی به‌عنوان متغیر مستقل و مطالعه حداقل یکی از صفات زراعی به‌عنوان متغیر وابسته بوده است (جدول ۱). مقالات پژوهشی از سایت بانک اطلاعات نشریات کشور (مگیران) و انتشارات Elsevier گرفته‌شده و زمان انتشار آن‌ها بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ بوده است. صفات موردنظر در این تحلیل شامل عملکرد دانه گندم، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله می‌باشند.

آنالیز آماری

در ابتدا داده‌های مربوط به صفات منتخب در هر یک از مقالات استخراج‌شده و در نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ در قالب یک بانک اطلاعات وارد شدند.

جدول ۱. تعداد مقالات منتخب به تفکیک صفات (تیمارها)

Table 1. Number of selected articles by traits (treatments)

Agronomical Traits	صفت زراعی	تعداد مقاله (پژوهش) No. of Articles
Grain yield	عملکرد دانه	52
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	23
Harvest index	شاخص برداشت	25
1000-grain weight	وزن هزار دانه	36
Grain per spike	تعداد دانه در سنبله	29

پس از پردازش اولیه، تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار STATA12 صورت گرفت و برای هر مجموعه داده، شاخص‌های اصلی مورداستفاده در تحلیل محاسبه شده است. در روش‌شناسی فراتحلیل، نخستین گام اندازه‌گیری اندازه اثر است که تفاوت یا اثر مشاهده‌شده در بین مطالعات را نشان می‌دهد و از محاسبه اختلاف استاندارد میانگین تیمار شاهد و میانگین تیمارهای آزمایشی به دست می‌آید (Koocheki et al., 2018). شاخص‌های متعددی برای تعیین اندازه اثر وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها شاخص کوهن (d) است (Akbari Zarradkhaneh and Attari, 2016). این شاخص به‌صورت حاصل تقسیم تفاوت بین میانگین‌ها (M_1-M_2) بر انحراف معیار ادغام‌شده دو گروه (S_p) تعریف شده (رابطه ۱) و برای اندازه‌گیری تفاوت استاندارد میانگین (گروهی) استفاده می‌شود (Rosenthal and Dematteo, 2001). ازآنجاکه پژوهش‌های مختلف در تخمین اندازه تأثیر آزمایش‌ها، دقت‌ها (یا اشتباه معیار) مشابهی ندارند، در فرآیند فراتحلیل، وزن‌دهی داده‌ها نیز انجام می‌شود و مطالعاتی که دقت بیشتری دارند وزن بیشتری نیز در تحلیل خواهند داشت که موجب افزایش دقت اندازه اثر نهایی می‌شود (Soltani et al., 2014).

در رابطه ۲، S_1 نشان‌دهنده انحراف معیار تیمار و S_2 نشان‌دهنده انحراف معیار شاهد است.

$$d=(\mu_1-\mu_2)/S_p \qquad [۱]$$

$$S_p=S_{pooled}=\sqrt{\left[(S_1^2+S_2^2)/2\right]} \qquad [۲]$$

برای تعیین میزان تفاوت بین مطالعات و صفات موردبررسی از تفاوت استانداردشده میانگین تیمارها[1] استفاده شد که بر اساس آن هر مطالعه‌ای که اندازه SMD بزرگ‌تر داشته باشد تفاوت میانگین آن بیشتر خواهد بود. میانگین انحراف معیار نهایی برای هر صفت در نمودار انباشت[2] مربوط به آن صفت نشان داده شده است.

هدف دیگر این تحقیق، تعیین همگنی نتایج و احتمال سوگیری در مقالات موردبررسی بوده است. در مطالعات فراتحلیل از روش‌های مختلفی برای تعیین همگنی نتایج استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن ضریب (I-squared) است که برای محاسبه آن از رابطه ۳ استفاده می‌شود (Higgins et al., 2003).

$$I^2=100*\frac{Q-df}{Q} \qquad [۳]$$

در این رابطه، Q مقدار عددی ضریب کوکران است که بر اساس مجموع وزن‌دهی شده مربع تفاوت‌های بین تأثیر هریک از مطالعات (به‌طور جداگانه) و تأثیر تجمعی آن‌ها محاسبه می‌شود (Gavaghan et al., 2000). مجذور I شاخصی از ضریب کوکران است که مستقیماً درصد ناهمگنی بین نتایج را نمایش می‌دهد. عموماً اگر مقدار مجذور بیش از ۵۰ درصد باشد نشان‌دهنده ناهمگنی زیاد در نتایج است (Higgins and Thompson, 2002).

در مطالعات فراتحلیل، برای نمایش نتایج اغلب از دو نمودار انباشت و قیفی[3] استفاده می‌شود. نمودار انباشت از رایج‌ترین نمودارها در روش فراتحلیل است که در آن هریک از مطالعات انجام شده پیرامون یک طبقه خاص، به همراه برآیند نهایی آن‌ها نمایش داده می‌شود (Lipsey et al., 2001). در این نمودار، هر ردیف بیانگر یک تحقیق بوده و اندازه هر مربع وزن نسبی مطالعه را نمایش می‌دهد. فضای اطراف مربع با توجه به وزن هر مربع کوچک و بزرگ است و خط افقی اطراف هر مربع نیز اطمینان ۹۵ درصد برای برآورد

[1] Standard Mean Difference (SMD)
[2] Forest plot
[3] Funnel plot

را نشان می‌دهد که هر چه بزرگ‌تر باشد دقت کمتر است و برعکس. لوزی نمایش داده شده در آخرین ردیف، مقدار برآیند وزن داده شده مربع‌ها و نشان‌دهنده برآورد کلی است. قطر افقی لوزی نیز نشان‌دهنده دامنه اطمینان ۹۵ درصد برآیند شاخص موردمطالعه است. درصورتی‌که قطر افقی لوزی، خط صفر را قطع کند نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن مجموع مطالعات است. علاوه بر آن بزرگی و کوچکی قطر لوزی نشان‌دهنده فاصله اطمینان کلی است. در صورت یکسان نبودن اندازه نمونه‌ها در مقالات و به‌منظور فراهم کردن امکان مقایسه آن‌ها، اندازه نمونه باید هم‌وزن شوند. خط عمودی دوم که معمولاً روی عدد صفر رسم می‌شود، نشان‌دهنده مقدار فرضیه صفر (حالت بدون اثر) است. در نمودار انباشت، اگر خط فاصله اطمینان، خط صفر یا خط بدون تأثیر را قطع نکند به این معنی است که اندازه اثر صفت موردنظر معنی‌دار است؛ بنابراین، این نمودار نشان می‌دهد که تأثیر تیمار در کدام مطالعات معنی‌دار و در کدام‌یک بدون معنی است. اگر پژوهش‌ها در سمت راست محور صفر قرار گیرند بدین معنی است که اثر تیمار مثبت بوده و اگر در سمت چپ آن قرار گیرند به معنی تأثیر منفی و کاهش صفت است (Reid, 2006).

نمودار قیفی، میزان انحراف در آزمایش‌ها و میزان احتمال سوگیری در مقالات را نشان می‌دهد. محور افقی نشان‌دهنده اندازه اثر است و محور عمودی شاخصی از دقت بوده و می‌تواند خطای استاندارد مطالعات، معکوس واریانس، تعداد نمونه‌ها و موارد مشابه باشد (Rothstein et al., 2005). در این مطالعه، اندازه اثر روی محور افقی و شاخص لگاریتم خطای استاندارد مطالعات روی محور عمودی نمودار قیفی نشان داده شده است (Sterne and Egger, 2001).

مطالعات بزرگ که خطای کمتری و اندازه اثر بیشتری دارند در بالای نمودار و به‌طرف راست مایل می‌شوند. مطالعات کوچک که خطای بیشتری دارند در طرف چپ و پایین محور متمرکز می‌شوند. در غیاب سوگیری انتشار، مطالعات به‌طور متقارن در اطراف اندازه اثر ترکیبی توزیع می‌شوند و در صورت سوگیری انتشار، انتظار می‌رود نمونه‌های بیشتری در قاعده نمودار و در یک‌طرف جمع شوند (Higgins and Green, 2011).

نتایج و بحث

بر اساس محاسبه اندازه اثر و بررسی وضعیت دقت پژوهش‌های انجام شده و نتایج آن‌ها، نتایج تحلیل‌های انجام شده شامل موارد زیر است:

عملکرد دانه

از میان مقالات منتخب، در ۵۲ مقاله تأثیر تنش خشکی بر صفت عملکرد دانه بررسی شده است. شکل ۱ نمودار انباشت مربوط به تأثیرپذیری عملکرد دانه گندم در برابر تنش خشکی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، اکثر مقالات در سمت چپ محور صفر قرارگرفته‌اند که نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنی‌دار تنش خشکی بر عملکرد دانه است. میانگین تفاوت استانداردشده در این پژوهش‌ها ۴/۰۷- و میانگین شاخص کوهن ۴/۴۲۸۰ محاسبه شده است.

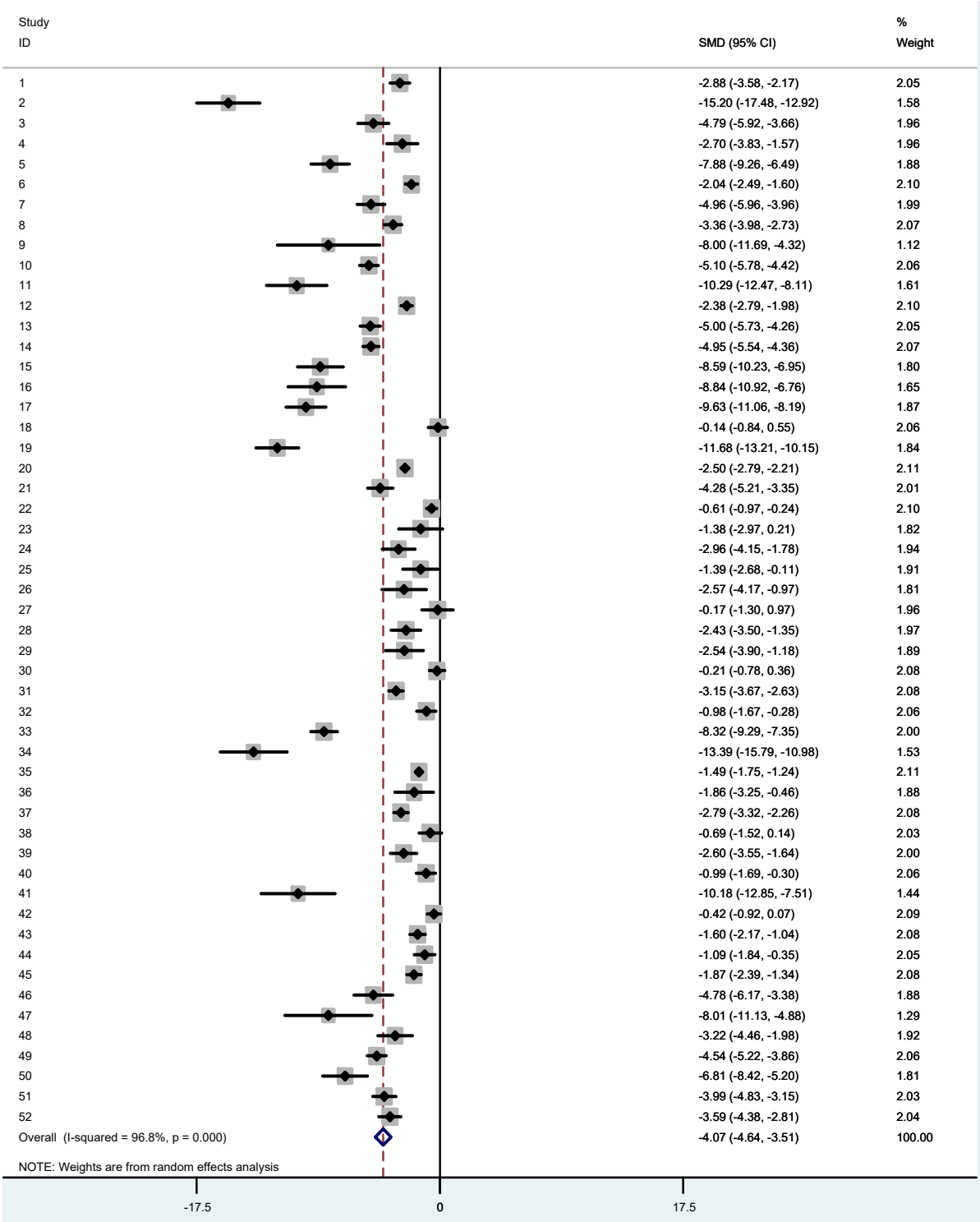
میانگین تفاوت بین تیمار و شاهد در این شاخص (۴/۰۷–) نشان می‌دهد تأثیر کلی تنش بر عملکرد دانه منفی بوده و با توجه به فاصله لوزی (برآیند کلی شاخص) از خط میانی (تأثیر صفر)، معنی‌دار است.

در نمودار قیفی (شکل ۲)، خط میانی (محور) نشانگر شاخص اندازه تأثیر بر عملکرد دانه بوده و خطوط منقطع (دو ضلع مثلث) حدود اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهند. قرار گرفتن نقاط در داخل محدوده مثلثی، نشان‌دهنده معنی‌دار نتایج این تحقیقات بوده و تقارن اطراف محور عمودی حاکی از دقت مطالعات است (Copas and Shi, 2001). در شکل ۲، اکثر مقالات در محدود ۹۵ درصدی قرار دارند و وضعیت پراکنش نقاط نشان می‌دهد که میزان اریبی کمتر است که یک امر مثبت درنتیجه تحقیقات تلقی می‌شود. در نمودار فوق آزمایش‌هایی دقیق هستند که دارای انحراف استاندارد کمتر بوده و بر روی محور افقی عدد کوچک‌تری را به خود اختصاص دهند و نزدیک صفر محور عمودی قرار گیرند. دقت پایین نتایج می‌تواند به دلیل اندازه نمونه پایین آن مقاله یا تمایل قبلی محقق به گرفتن نتایج از پیش تعیین‌شده یا هردوی آن‌ها باشد.

عملکرد بیولوژیک

از میان مقالات منتخب، در ۲۳ مقاله تأثیر تنش خشکی بر صفت عملکرد بیولوژیک بررسی شده است. شکل ۳ نمودار انباشت مربوط به تأثیرپذیری عملکرد بیولوژیک در برابر تنش

خشکی را نشان می‌دهد که در آن اکثر مقالات در سمت چپ محور صفر نمودار قرارگرفته‌اند و نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنی‌دار تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک است.

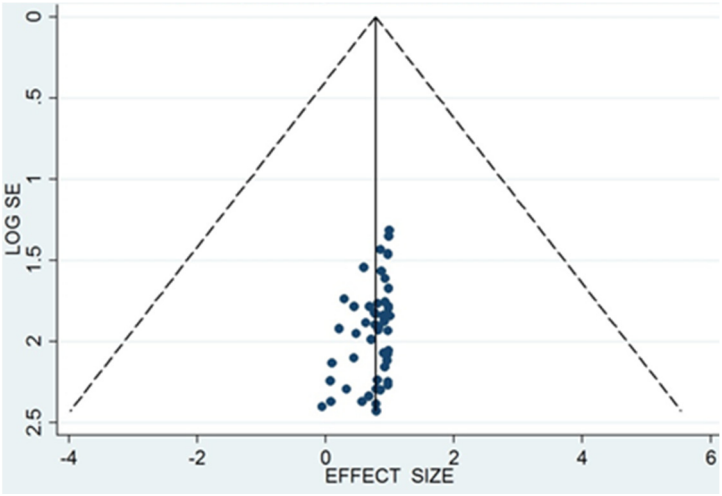


شکل ۱. نمودار انباشت تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه که در آن وزن هریک از مقالات در برآورد کلی اندازه اثر، تفاوت استانداردشده میانگین بافاصله معنی‌داری ۹۵٪، مقدار مجذور I برای کل مقالات و همچنین وضعیت معنی‌داری کلی مطالعات آورده شده است.

Fig 1. Forest plot of drought stress effect on grain yield shows weight of individual studies, SMD of studies with 95% Confidence Interval, I-squared of all studies and overall significance

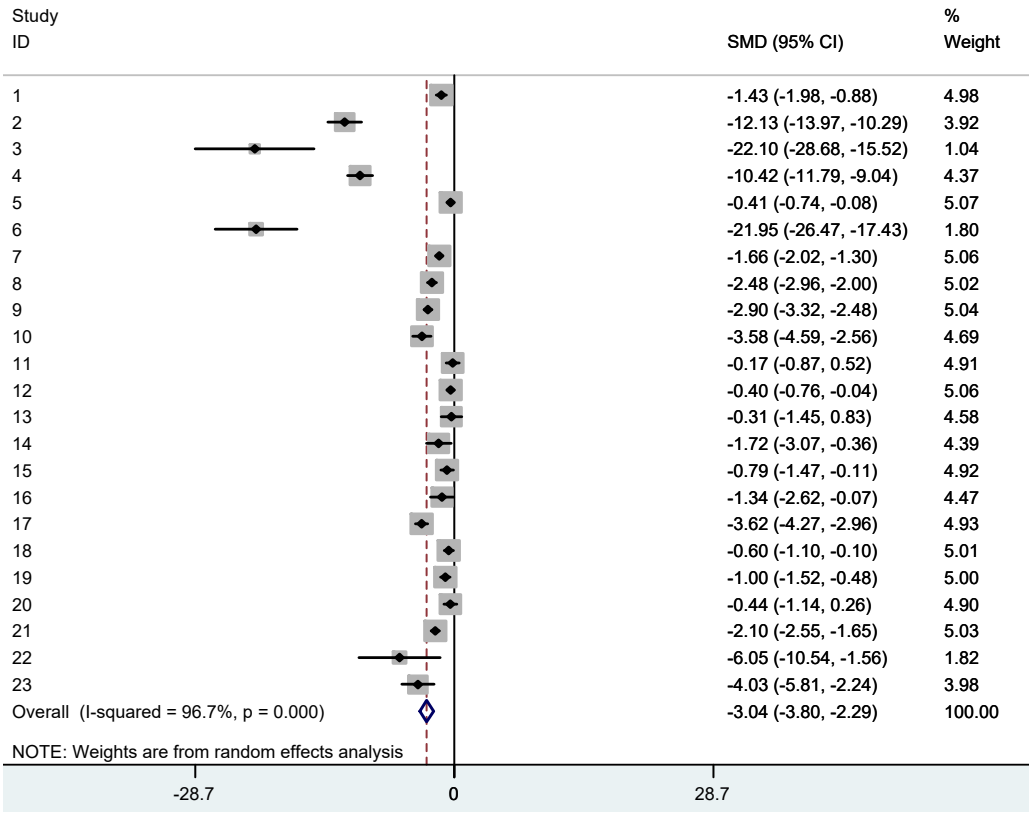
میانگین تفاوت استاندارد در این پژوهش‌ها ۳/۰۴- و میانگین شاخص کوهن ۳/۳۷۹۶ محاسبه شده است. میانگین تفاوت بین تیمار و شاهد در این شاخص (۳/۰۴–) نشان می‌دهد که تأثیر کلی تنش بر عملکرد بیولوژیک منفی و با توجه به فاصله لوزی (برآیند کلی شاخص) از خط میانی (تأثیر صفر)، معنی‌دار است.

.



شکل ۲. نمودار قیفی تأثیرپذیری عملکرد دانه گندم در برابر تنش خشکی

Fig 2. Funnel plot of drought stress effect on grain yield



شکل ۳. نمودار انباشت تأثیر تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک که در آن وزن هریک از مقالات در برآورد کلی اندازه اثر، تفاوت استانداردشده میانگین با فاصله معنی‌داری ۹۵٪، مقدار مجذور I برای کل مقالات و همچنین وضعیت معنی‌داری کلی مطالعات آورده شده است.

Fig 3. Forest plot of drought stress effect on biological yield shows weight of individual studies, SMD of studies with 95% Confidence Interval, I-squared of all studies and overall significance

همچنین، شکل ۳ برآورد نهایی اثر تیمارها در صفت عملکرد بیولوژیک بین صفر تا ۳/۰۴- با فاصله اطمینان اندک (قطر لوزی) را نشان می‌دهد. شکل ۴ نشان می‌دهد که تمامی مقالات در محدوده ۹۵ درصدی (محدوده مثلث معنی‌داری) قرار دارند. آزمایش‌های دقیق‌تر آن‌هایی هستند که دارای انحراف استاندارد کمتر بوده، بر روی محور افقی عدد کوچک‌تری را به خود اختصاص دهند و در بالای نمودار و نزدیک صفر محور عمودی قرار گیرد. مقالاتی که در پایین نمودار قرارگرفته‌اند با توجه به میزان خطای استاندارد از دقت پایینی برخوردار هستند.

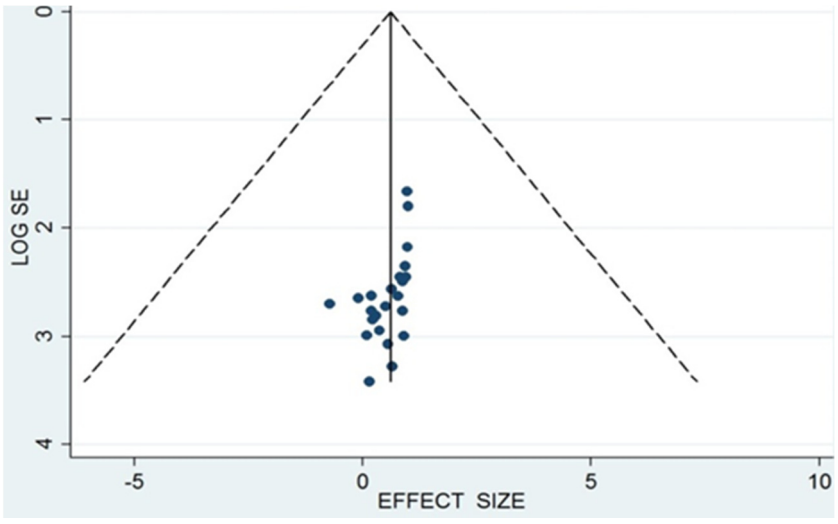
شاخص برداشت

از میان پژوهش‌های منتخب، میزان تأثیرپذیری شاخص برداشت گندم در برابر تنش خشکی در ۲۵ مقاله بررسی شده است همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، اکثر مقالات در این صفت سمت چپ محور صفر قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنی‌دار تنش بر شاخص مزبور است. میانگین اندازه اثر تمام پژوهش‌ها ۱/۹۲۴۸ و میانگین تفاوت تیمار و شاهد در این مجموعه ۱/۷۸- است. میانگین تفاوت بین تیمار و شاهد در این شاخص (۱/۷۸–) نشان می‌دهد تأثیر کلی تنش بر شاخص برداشت منفی بوده و با توجه به فاصله لوزی (برآیند کلی شاخص) از خط میانی (تأثیر صفر)، معنی‌دار است.

نمودار قیفی مربوط به تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل، قرار گرفتن بیشتر مقالات در قسمت راست خط میانی، اریب بودن نتایج پژوهش‌ها را نشان می‌دهد. به‌بیان‌دیگر، چون مقالات به‌طور یکنواخت و متقارن در این محدوده پخش نشده‌اند، می‌توان گفت که این مقالات دقت بالایی ندارند. بیشتر مقالات با توجه به تعداد نمونه کمتر از دقت پایینی برخوردارند.

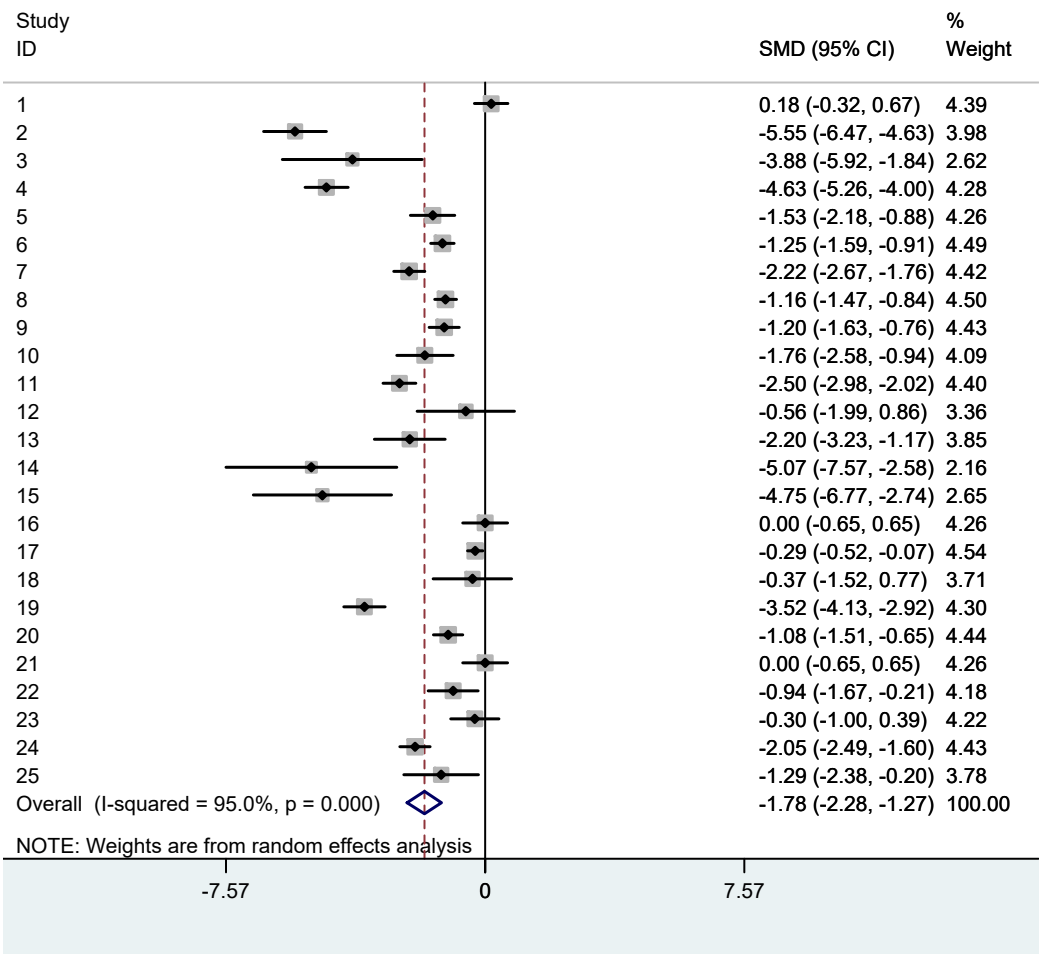
وزن هزار دانه

از میان پژوهش‌های منتخب، میزان تأثیرپذیری شاخص وزن هزار دانه در برابر تنش خشکی در ۳۶ مقاله موردبررسی قرار گرفته است. همان‌گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود، اکثر مقالات در سمت چپ محور صفر قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنی‌دار تنش بر صفت وزن هزار دانه است. میانگین شاخص اندازه اثر در این مجموعه پژوهش‌ها ۳/۱۲۷۶۹ و میانگین تفاوت تیمار و شاهد در تمامی مقالات ۲/۵۳- محاسبه شده است. میانگین تفاوت بین تیمار و شاهد در این شاخص (۲/۵۳–) نشان می‌دهد تأثیر کلی تنش بر وزن هزار دانه منفی بوده و با توجه به فاصله لوزی (برآیند کلی شاخص) از خط میانی (تأثیر صفر)، معنی‌دار است.



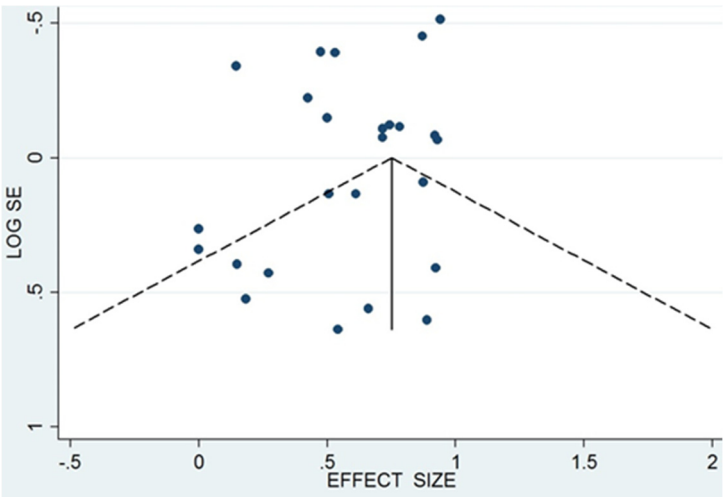
شکل ۴. نمودار قیفی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد بیولوژیک

Fig 4. Funnel plot of drought stress effect on biological yield



شکل ۵. نمودار انباشت تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت که در آن وزن هریک از مقالات در برآورد کلی اندازه اثر، تفاوت استانداردشده میانگین با فاصله معنی‌داری ۹۵٪، مقدار مجذور I برای کل مقالات و همچنین وضعیت معنی‌داری کلی مطالعات آورده شده است.

Fig 5. Forest plot of drought stress effect on harvest index shows weight of individual studies, SMD of studies with 95% Confidence Interval, I-squared of all studies and overall significance



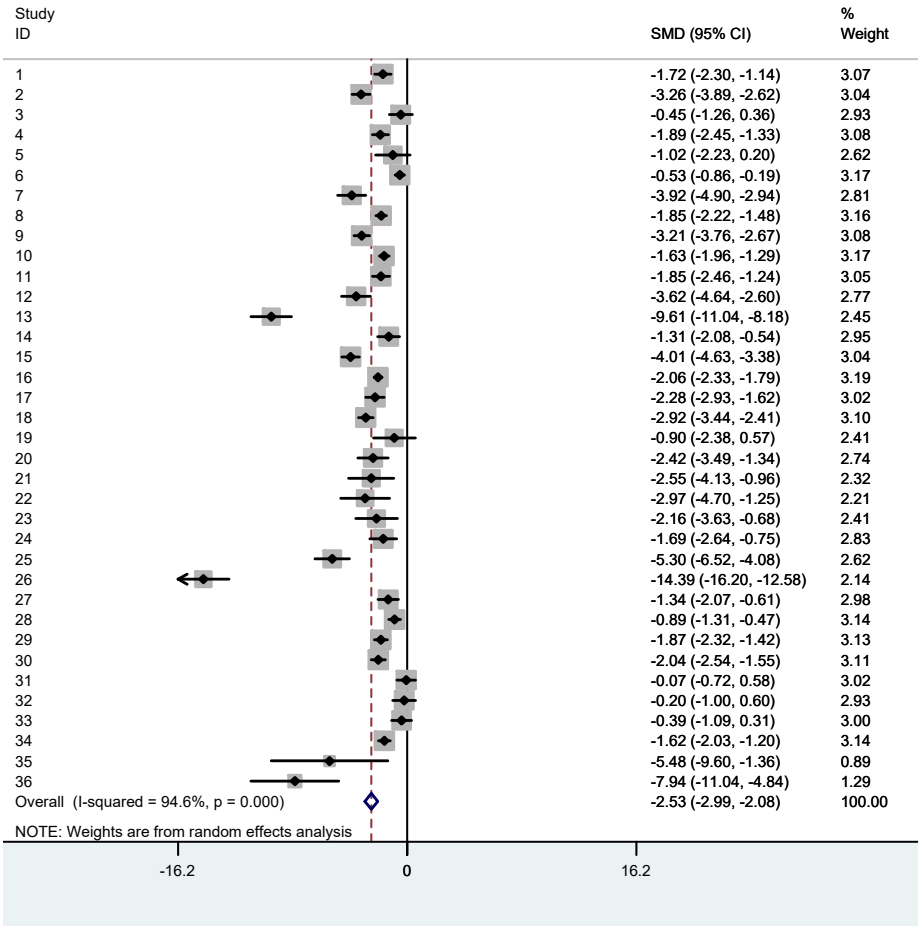
شکل ۶. نمودار قیفی تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت

Fig 6. Funnel plot of drought stress effect on harvest index

نمودار قیفی مربوط به تأثیرپذیری تنش خشکی بر وزن هزار دانه در شکل ۸ نشان داده شده است. قرار گرفتن بیشتر مقالات در قسمت راست خط میانی نمودار قیفی، اریب بودن نتایج آن مقالات را نشان می‌دهد. به عبارتی چون مقالات به‌طور یکنواخت در این محدوده پخش نشده‌اند و مطالعات متمایل به راست هستند احتمالاً این مقالات از دقت بالایی برخوردار نیستند. مقالاتی که در خارج خطوط اطمینان هستند، دقت و تعداد نمونه بالایی دارند. همچنین می‌توان گفت بیرون بودن بیشتر نقاط از محدوده ۹۵ درصد اطمینان (مثلث معنی‌داری) می‌تواند به دلیل پایین بودن تعداد کم نمونه در برخی پژوهش‌ها باشد و یا اینکه پژوهشگران تمایل داشته‌اند با کاهش تعداد نمونه از تحقیق جواب مثبت دریافت کنند. علاوه بر آن نقطه‌هایی (مقالات) که خیلی پایین یا بالا هستند، می‌بایست ازنظر اعتبار داده‌ها و اطلاعات مورد بازبینی قرار گیرند تا نتایج آن‌ها قابل‌اتکا باشد.

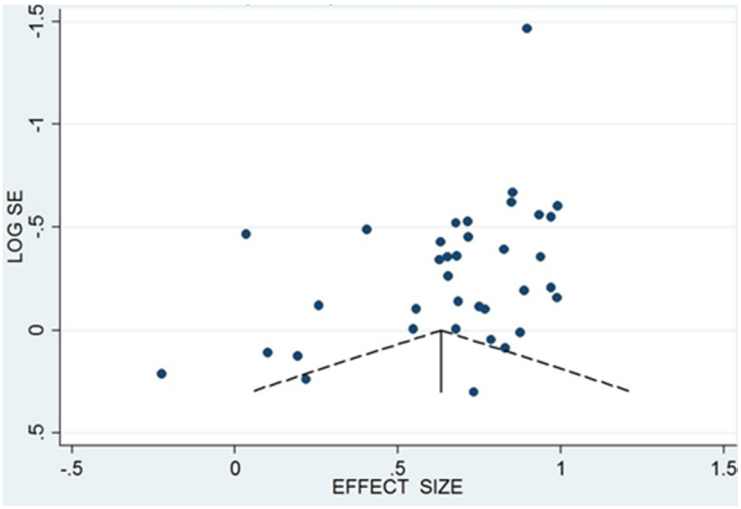
تعداد دانه در سنبله

تأثیر تنش خشکی بر صفت تعداد دانه در سنبله در مقاله از پژوهش‌های منتخب موردبررسی قرار گرفته است. همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود، اکثر مقالات در سمت چپ محور صفر و در محدوده معنی‌داری قرار گرفته‌اند. میانگین اندازه اثر در این مطالعات ۳/۴۵۸۰ و میانگین تفاوت استاندارد آن‌ها ۱/۶۱- بوده است. میانگین تفاوت بین تیمار و شاهد در این شاخص (۱/۶۱–) نشان می‌دهد تأثیر کلی تنش بر تعداد دانه منفی بوده و با توجه به فاصله لوزی (برآیند کلی شاخص) از خط میانی (تأثیر صفر)، معنی‌دار است.



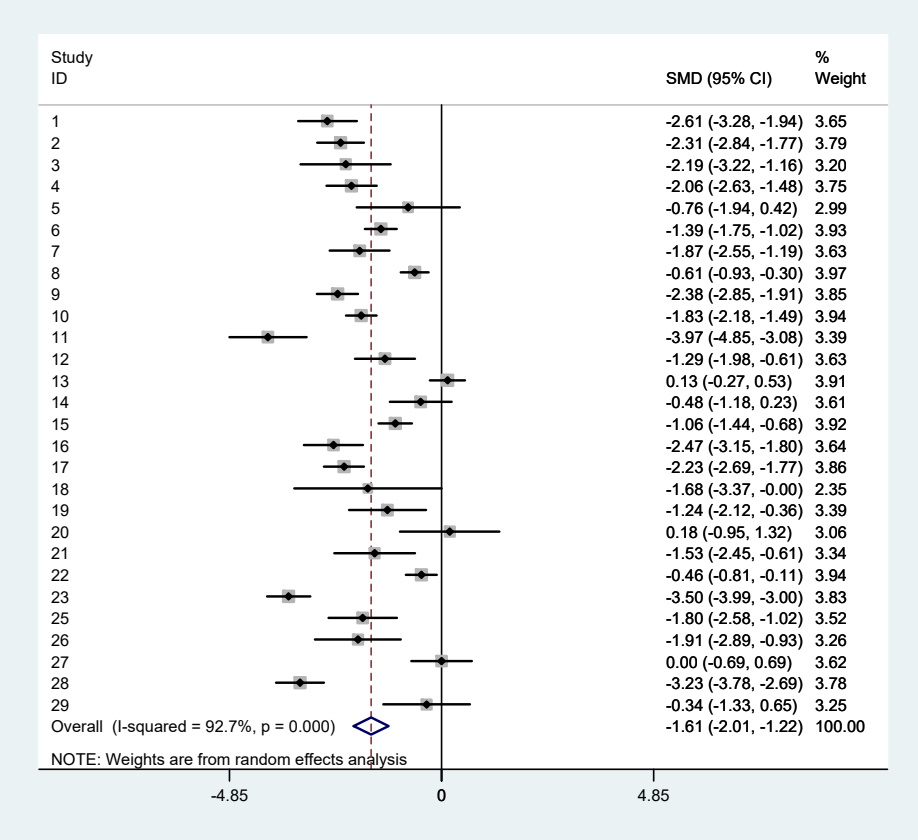
شکل ۷. نمودار انباشت تأثیر تنش خشکی بر وزن هزار دانه گندم که در آن وزن هریک از مقالات در برآورد کلی اندازه اثر، تفاوت استانداردشده میانگین با فاصله معنی‌داری ۹۵٪، مقدار مجذور I برای کل مقالات و همچنین وضعیت معنی‌داری کلی مطالعات آورده شده است.

Fig 7. Forest plot of drought stress effect on 1000-grain weight shows weight of individual studies, SMD of studies with 95% Confidence Interval, I-squared of all studies and overall significance



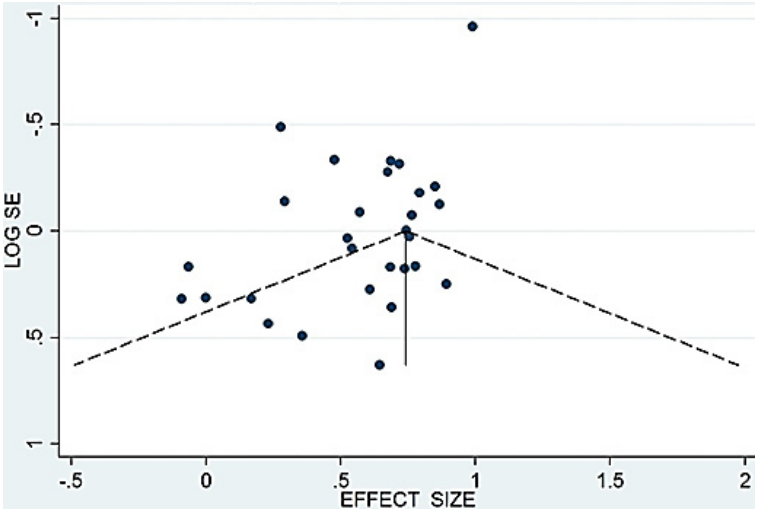
شکل ۸. نمودار قیفی تأثیر تنش خشکی بر وزن هزار دانه

Fig 8. Funnel plot of drought stress effect on 1000-grain weight



شکل ۹. نمودار انباشت، تأثیرپذیری تعداد دانه در سنبله در برابر تنش خشکی که در آن وزن هریک از مقالات در برآورد کلی اندازه اثر، تفاوت استانداردشده میانگین با فاصله معنی‌داری ۹۵٪، مقدار مجذور I برای کل مقالات و همچنین وضعیت معنی‌داری کلی مطالعات آورده شده است.

Fig 9. Forest plot of drought stress effect on grain per spike shows weight of individual studies, SMD of studies with 95% Confidence Interval, I-squared of all studies and overall significance



شکل ۱۰. نمودار قیفی تأثیرپذیری تعداد دانه در سنبله در برابر تنش خشکی

Fig 10. Funnel plot of drought stress effect on Grain per spike

جدول ۲. میزان ناهمگنی نتایج مطالعات در مورد صفات زراعی بر اساس شاخص مجذور I

Table 2. Heterogenity of studies using I-squared

صفت Traits	درصد ناهمگنی (مجذور I) Heterogenity (I-square)
عملکرد دانه Grain yield	96.8%
شاخص برداشت Harvest index	95.0%
عملکرد بیولوژیک Biological yield	96.7%
وزن هزار دانه 1000 grain weight	94.6%
تعداد دانه در سنبله Grain per spike	92.7%

نمودار قیفی مربوط به تأثیرپذیری تنش خشکی بر تعداد دانه در سنبله در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است. در این نمودار با توجه به قرار گرفتن بیشتر مقالات در قسمت چپ خط میانی نمودار قیفی، اریب بودن نتایج آن‌ها را نشان می‌دهد. به عبارتی چون مقالات به‌طور یکنواخت در این محدوده پخش نشده‌اند (نمودار نامتقارن)، می‌توان گفت این مقالات از دقت بالایی برخوردار نیستند.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که صفات زراعی بررسی شده همگی به نحو معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. آماره‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که تغییرات شاخص کوهن در بین صفات ۱/۹۲۴۸ تا ۴/۴۲۸۰ بوده است.

بیشترین مقدار شاخص مذکور در صفت عملکرد دانه و کمترین آن مربوط به صفت شاخص برداشت اندازه‌گیری شده است. مقدار کم این شاخص در صفت «شاخص برداشت» نشان‌دهنده تغییرات کمتر این صفت در شرایط تنش خشکی بوده و پایداری آن را نشان می‌دهد (Yousefi-Azar et al.,2007). نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که تنش خشکی بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشته و پس‌ازآن به ترتیب وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت قرار می‌گیرند. محاسبه درصد ناهمگنی نشان می‌دهد که باوجود معنی‌داری تأثیر تنش خشکی بر صفات موردبررسی، این نتایج ازنظر همگنی نتایج در سطح پایینی قرار دارند (جدول ۲). هر چه مقادیر مندرج در جدول ۲ به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشند، نشانه ناهمگنی بیشتر نتایج اندازه اثر پژوهش‌ها است (Gorbanizadeh and Nangir, 2009).

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی نتایج پژوهش‌های زراعی با استفاده از رهیافت فراتحلیل، امکان زیادی برای ارزیابی قابلیت اتکای نتایج تحقیقات و تعمیم‌پذیری نتایج را فراهم می‌کند. با استفاده از فراتحلیل، امکان اجرای مطالعات مروری و ارزیابی نتایج مطالعات مختلف فراهم می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نتایج برخی از پژوهش‌ها در مورد میزان تأثیر

تنش خشکی بر صفات زراعی گندم باوجود معنی‌داری، دقت چندانی ندارند. یافته‌های این تحقیق با این نتایج تا حد زیادی با مطالعه جینگ و بالوچ (Jing and Baloch, 2020) در مورد تأثیر تنش خشکی بر صفات زراعی گندم با استفاده از فراتحلیل تطابق دارد. همچنین در مورد پراکندگی و ناهمگنی نتایج تحقیقات زراعی، یافته‌های این مطالعه با نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2017) در مورد مصرف کود شیمیایی نیتروژن در غلات با استفاده از فراتحلیل ازنظر پراکندگی و تنوع در نتایج پژوهش‌ها مطابقت دارد. بر اساس نتایج این تحقیق و پژوهش‌های مشابه می‌توان گفت که تعدادی از پژوهش‌های زراعی با اهداف و موضوعات مشابه، ازنظر همگنی نتایج با یکدیگر متفاوت بوده و با توجه به‌احتمال سوگیری، می‌بایست در تعمیم نتایج و کاربردی‌سازی آن‌ها در ارائه توصیه‌های زراعی در سطح کلان ملی یا منطقه‌ای بررسی‌های بیشتری صورت گیرد. نتایج فراتحلیل این موضوع علاوه بر مدیریت تنش خشکی در برنامه‌های تولید ارقام جدید، مدیریت ریسک‌های خشکی و همچنین برآورد تولید نهایی کاربرد دارد.

جدول ۳. خلاصه نتایج پژوهش‌ها و شاخص‌های فراتحلیل

Table 3. Summary of results and meta-analysis indices

صفات زراعی Agronomical Traits	تفاوت استانداردشده میانگین (تیمارها) Standard Mean Difference (treatments)	اثر تیمار Treatment effect		سطح معنی‌داری Significance Level	شاخص کوهن Cohen's "d"
		افزایش Positive	کاهش Negative		
عملکرد دانه Grain yield	-4.07(-4.64, -3.51)		*	95%	4.4280
شاخص برداشت Harvest index	-1.78(-2.28, -1.27)		*	95%	1.9248
عملکرد بیولوژیک Biological yield	-3.04(-3.80, -2.29)		*	95%	3.1277
وزن هزار دانه 1000 grain weight	-2.53(-2.99, -2.08)		*	95%	3.4580
تعداد دانه در سنبله Grain per spike	-1.61(-2.01, -1.22)		*	95%	3.3796

منابع

Akbari Zarradkhaneh, S., Attari, M., 2016. Necessity of measuring and reporting effect size measures in psychological studies. Journal of Rooyesh-e- Ravanshenasi. 5(1), 29-46. [In Persian with English summary].

Broberg, M.C., Högy, P., Pleijel, H., 2017. CO_2-induced changes in wheat grain composition: Meta-analysis and response functions. Agronomy. 7(2), 32-51.

Copas, J.B., Shi, J.Q., 2001. A sensitivity analysis for publication bias in systematic reviews. Statistical Methods in Medical Research. 10(1), 251-265.

Gallin, J.I., Ognibene, F.P., Johnson, L.L., 2017. Principles and Practice of Clinical Research, Fourth Edition (4th. ed.). Academic Press Inc., USA.

Gavaghan, D.J., Moore, R.A., McQuay, H.J., 2000. An evaluation of homogeneity tests in meta-analyses in pain using simulations of individual patient data. Pain. 85(3), 415-424.

Ghorbani Zadeh, V., Hassan Nangir, S.T., 2014. Meta-analysis Application Guide With CMA-2 Software. Sociologists Publication. [In Persian].

Gurevitch, J., Koricheva, J., Nakagawa, S., Stewart, G., 2018. Meta-analysis and the science of research synthesis. Nature. 555, 175-182.

Higgins, J.P.T., Thompson, S.G., 2002. Quantifying heterogeneity in a metaanalysis. Statistics in Medicine. 21, 1539-1558.

Higgins, J.P., Thompson, S. G., Deeks, J.J., Altman, D.G., 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. British Medical Journal (Clinical Research ed.). 327(7414), 557-560.

Higgins J., Green, S., 2011. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0 [updated March 2011]. The Cochrane Collaboration, 2011. Available from www.handbook.cochrane.org.

Jing, B., Baloch, S., 2020. Yield response of winter wheat (*triticum aestivum* L.) to water stress in northern China: A meta-analysis. Applied Ecology and Environmental Research. 18(1), 433-446.

Khaliliaqdam, N., Hasani, R., Mir Mahmoudi, T., 2018. Meta-analysis of some effective factors on wheat production in Iran. Crops Improvement. 20(1), 191-204. [In Persian with English summary].

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshaie, S., Davari, A., 2017. A Meta-Analysis on Nitrogen Fertilizer Experiments on Cereal Crops in Iran. Agroecology. 9(2), 296-313. [In Persian with English summary].

Lipsey, M. W., Wilson, D. B. 2001. Practical Meta-Analysis. Sage Publications, Inc.

Naseri, R., Vafa, P., Moradi, M. 2014. The effect of drought stress on grain yield, yield components and protein content of durum wheat cultivars in Ilam province, Iran. Biological, Veterinary, Agricultural and Food Engineering. 8, 619-624

Ried, K., 2006. Interpreting and understanding meta-analysis graphs--a practical guide. Australian Family Physician. 35(8), 635-638.

Rosenthal, R., Dematteo, M.R., 2001. Meta–analysis: Recent developments in Quantitative Methods for Literature Reviews. Annual Review of Psychology. 55, 59- 82.

Rothstein, H., Sutton, R., Alexander J., Borenstein, M., 2005. Publication Bias in Meta-Analysis: Prevention, Assessment and Adjustments. John Wiley and Sons Ltd.

Soltani, E., Soltani, A., 2014. Necessity of using meta-analysis in field crops researches. Electronic Journal of Crop Production. 7(3), 203-216. [In Persian with English summary].

Sterne, J., Egger, M., 2001. Funnel plots for detecting bias in meta-analysis: Guidelines on choice of axis. Clinical Epidemiology. 54(10), 1046-1055.

Wilcox, J., Makowski, D., 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. Field Crops Research. 156, 180-190.

Yousofi-Azar, M., Rezai, A.M., 2007. Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Tritcum aestivum* L). Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources). 11(42),113-121. [In Persian with English summary].

Zahoor A., Ejaz A.W., Sajjad A., Shazia A., Tanveer A., Wajid M., Osama B. A., Terence T., Maryke L., Muhammad R., 2018. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. Acta Physiol Plant. 40(80),1–13.

Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C., Lu, X., Zhang, M., Jin, J., 2018. Effect of Drought on Agronomic Traits of Rice and Wheat: A Meta-Analysis. Environmental Research and Public Health.15(5), 839-853.