فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹

۸۷-۱۰۸

اعتبارسنجی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم با استفاده از روش فراتحلیل

بیتا مهدوی امیری و جعفر کامبوزیا*

گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۷

مهدوی امیری، ب. و ج. کامبوزیا. ۱۳۹۹. اعتبارسنجی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم با استفاده از روش فراتحلیل. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۴): ۸۷-۱۰۸.

سابقه و هدف: نگرانی از تأثیرهای احتمالی تغییر اقلیم بر عملکرد کمی و کیفی محصول‌های کشاورزی است که سبب شده تا پژوهش‌های زیادی در یک دهه گذشته در این زمینه انجام شود. غلات بیشترین اهمیت را در تأمین غذای جمعیت جهان دارد و از بین غلات مختلف نیز گندم مهمترین نقش را برعهده دارد. در کشور ایران نیز گندم مهمترین محصول زراعی است و نقش غیرقابل انکاری در تغذیه جمعیت کشور دارد. با توجه به اهمیت این گیاه در تأمین امنیت غذایی و لزوم پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد این گیاه، این مطالعه با هدف بررسی افزایش غلظت دی اکسیدکربن روی عملکرد گیاه گندم و با استفاده از روش فراتحلیل، برای مقایسه کمی اثر CO_2، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: هدف از فراتحلیل به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر از اطلاعات موجود است. به‌منظور دستیابی به داده‌های لازم برای انجام تحقیق حاضر، از روش بررسی منابع چاپ شده، استفاده شد. کلید واژه‌های مرتبط با موضوع در موتور جستجوهای مختلف، جستجو شد و تعداد ۷۵ مقاله در مورد تأثیر افزایش غلظت دی اکسیدکربن روی عملکرد گندم استخراج شد. سپس مقاله‌های تکراری و مقاله‌هایی که داده‌های مورد نظر را نداشتند، حذف شدند و از میان مقاله‌های باقی‌مانده اطلاعات مربوط به CO_2، اندازه نمونه، میانگین و انحراف معیار استخراج شد. در گام بعدی این مقادیر در نرم‌افزار Excel ثبت شد و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Stata 16 نمودارهای درختی و قیفی لازم رسم شدند و همچنین برای بررسی سوگیری انتشار در میان مطالعات، از روش اصلاح و پرکردن و رسم نمودارهای آن استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج مربوط به نمودار درختی بعد از حذف داده‌های پرت، نشان دهنده این است که دو گروه T2 (۱۵-۲۵) و T3 (۳۵_۲۵) دارای اثر اندازه نهایی بیشتری (حدود ۱/۶) هستند. این نتایج نشان می‌دهد افزایش درجه حرارت تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، سبب افزایش عملکرد گندم می‌شود. همچنین گروه T0, که در مقاله‌های این گروه به درجه حرارت اشاره‌ای نشده است، دارای کمترین اثر اندازه (۰/۳۸) می‌باشد. پس می‌توان این‌گونه استنباط کرد که افزایش درجه حرارت بین ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و همچنین افزایش غلظت CO_2 در این دامنه دمایی، سبب افزایش عملکرد گندم خواهد شد. بررسی نمودار قیفی نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات در قسمت بالای نمودار تجمع پیدا کرده‌اند. این مطالعات دارای خطای استاندارد کوچکتر، اندازه نمونه بزرگتر و دقت بالاتر هستند. همچنین نتایج نشان دهنده سوگیری جانبدارانه در جهت مثبت می‌باشد. بعد از رسم نمودار قیفی، از روش اصلاح و پرکردن با هدف تخمین مطالعات گمشده استفاده شد. بعد از

*Corresponding Author: *Email Address*. J-Kambouzia@sbu.ac.ir
http://doi.org.10.52547/envs.18.4.87

انجام روش اصلاح و پرکردن به نمودار، ۶ نقطه که با رنگ نارنجی مشخص شده است، اضافه شد. این نقاط، مطالعات گمشده‌ای هستند که برای ایجاد تقارن در نمودار، نیاز به جایگذاری دارند. وجود این نقاط نشان دهنده سوگیری در جهت مثبت در مطالعات قبلی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که مطالعاتی که در سال‌های اخیر انجام شده، به‌دلیل اندازه نمونه‌های بزرگتر و دقت بیشتر در نتایج آن‌ها، دارای نتیجه‌های قابل استنادتر می‌باشد. همچنین با توجه به این که افزایش غلظت CO_2 می‌تواند سبب افزایش دما نیز شود، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی و با استفاده از روش فراتحلیل، تأثیر متقابل افزایش غلظت CO_2 و افزایش دما بر گیاهان زراعی مهم مورد بررسی قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روش اصلاح و پرکردن، نمودار درختی، نمودار قیفی.

مقدمه

کمابیش تمام بخش‌های اقتصادی تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارند اما کشاورزی وابسته‌ترین بخش به اقلیم می‌باشد(Rosegrant *et al*., 2008) . اثرهای اقتصادی تغییر اقلیم در مورد کشاورزی به‌صورت تغییر در عملکرد، تولید و عرضه محصول‌های کشاورزی و تأثیری که بر امنیت غذایی دارد و همچنین، تغییرات بلند مدت در پارامترهای اقلیمی که سودآوری و درآمد کشاورزان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، آشکار می‌شود (Amirnejad and Asadpour, 2017). نگرانی از تأثیرهای احتمالی تغییر اقلیم روی عملکرد کمی و کیفی محصول‌های کشاورزی موجب شده تا پژوهش‌های متعددی در یک دهه گذشته در این زمینه انجام شود. این بخش از تحقیقات به بررسی اثرهای احتمالی تغییرات اقلیمی روی محصول‌های کشاورزی، از جمله تغییر در عملکرد محصول‌های کشاورزی و دامداری و همچنین پیامدهای اقتصادی این تغییرات نهفته عملکرد می‌پردازد (Adams *et al*., 1990). از طرف دیگر، تقاضای جهانی برای محصول‌های کشاورزی از جمله مواد غذایی، با توجه به جمعیت رو به رشد در جهان و تغییر در الگوهای مصرف، رو به افزایش می‌باشد (Frona *et al*., 2019). بنابراین پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی تحت سناریوهای مختلف کشاورزی و اقلیمی برای ارزیابی چشم‌انداز امنیت غذایی مورد نیاز است (Challinor *et al*., 2014).

افزایش غلظت دی اکسیدکربن، یکی از تغییرهای تثبیت شده اقلیم در مقیاس جهانی در نیم قرن گذشته است. سطح CO_2 در جو به‌طور پیوسته در ۵۰ سال گذشته افزایش یافته و انتظار می‌رود طی ۳۰ سال آینده این افزایش ادامه یابد. سطح فعلی CO_2 حدود ppm ۳۸۷ است و این مقدار تا سال ۲۰۵۰ به ۴۵۰ppm خواهد رسید و این رشد سریعتر از انتظار در حال افزایش است (Karl *et al*., 2009). میزان کل انتشار CO_2 در سال ۲۰۱۰ در سطح دنیا برابر با ۳۱ گیگا تن بوده است. در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا حدود ۵ درصد از CO_2 دنیا تولید می‌شود که بیش از نیمی از آن مرتبط با سوختن نفت است و نقش گاز طبیعی هم قابل توجه است. ایران با تولید ۵۰۹ میلیون تن در سال، در خاورمیانه بزرگترین و در دنیا نهمین تولیدکننده CO_2 درسال ۲۰۱۰ بوده است (IEA, 2012).

در شرایط افزایش CO_2 پاسخ گیاهان C_4 در مقایسه با گیاهان C_3 متفاوت است (Kaur *et al*., 2012). Ghannoum *et al*. (2000) گزارش کردند که اثر مثبت افزایش CO_2 بر عملکرد گیاهان C_3 مانند گندم در مقایسه با گیاهان C_4 مانند ذرت بیشتر است. در سال‌های اخیر، آزمایش‌های مزرعه‌ای و شبیه‌سازی‌های متعددی در مورد تغییر اقلیم به‌وسیله تغییر یکی از پارامترهای اقلیمی مانند افزایش سطح CO_2 انجام شده است. گزارش‌ها نشان‌دهنده آن است که افزایش سطح CO_2 به‌واسطه افزایش میزان فتوسنتز، سبب افزایش عملکرد گیاهان زراعی شده است (Kimball and Idso 1983, Kimball *et al*., 2002). افزایش غلظت CO_2 اتمسفری منجر به پیدایش

فرضیه‌های بسیاری در مورد اثرهای احتمالی این افزایش روی رشد و عملکرد گیاهان شده است. بنابراین به درک واقعی‌تری از اثر افزایش CO_2 بر عملکرد گیاهان زراعی نیاز می‌باشد (Kaur *et al*., 2012).

جمعیت جهانی با نرخ رشدی برابر با ۱/۱ درصد در حال افزایش است و در نتیجه هر سال حدود ۸۵ میلیون نفر به جمعیت جهان یا به‌عبارتی به جمعیت مصرف کننده مواد کشاورزی افزوده می‌شود (U.S. Census Bureau, 2012). غلات بیشترین اهمیت را در تأمین غذای جمعیت جهان دارد و از بین غلات مختلف نیز گندم مهمترین نقش را برعهده دارد. در کشور ایران نیز گندم مهمترین محصول زراعی است و نقش غیرقابل انکاری در تغذیه جمعیت کشور دارد. با توجه به اهمیت این گیاه در تأمین امنیت غذایی و لزوم پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد این گیاه، این مطالعه با هدف بررسی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن روی عملکرد گندم و با استفاده از روش فراتحلیل، برای مقایسه کمی اثر CO_2، انجام گرفت. بنابر تعریف Glass (1976) فراتحلیل، تحلیل تحلیل‌ها است. اصطلاح فراتحلیل برای نخستین بار توسط Glass (1976) در انجمن پژوهشی آموزشی آمریکا به‌کار برده شد. هدف آن به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر از اطلاعات موجود است که با روی هم ریختن نتایج مطالعه‌های کوچکتر و یا با یک یا چند تحلیل آماری حاصل می‌شود. در روش فراتحلیل، میانگین‌ها، انحراف معیارها و نتایج آزمون‌های آماری هستند که استخراج و سپس خلاصه و بررسی می‌شوند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به داده‌های لازم برای انجام تحقیق حاضر، از روش بررسی منابع چاپ شده در مجله‌ها و کتاب‌های علمی داخل و خارج کشور استفاده شد. به‌این منظور در ابتدا واژه‌های کلیدی مناسب که پوشش‌دهنده موضوع تحقیق باشد مانند تغییر اقلیم، گندم، افزایش دی‌اکسیدکربن و... به دو زبان فارسی و انگلیسی انتخاب و سپس اقدام به جستجوی مقاله‌ها در موتور جستجوهای مختلف شد. تعداد ۷۵ مقاله در مورد تأثیر افزایش غلظت دی اکسیدکربن روی عملکرد گندم استخراج شد. در مرحله بعد مقاله‌های تکراری و مقاله‌هایی که داده‌های مورد نظر را نداشتند، حذف شده و در نهایت ۳۹ مقاله که در آن‌ها اثر افزایش CO_2 بر رشد و عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم بررسی شده بود، انتخاب شد و از میان آن‌ها مقدار CO_2، اندازه نمونه، میانگین و انحراف معیار استخراج شد. در گام بعدی این مقادیر در نرم‌افزار Excel ثبت شد و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Stata 16 نمودارهای درختی و قیفی لازم رسم شدند.

برای بررسی سوگیری انتشار در میان مطالعات، از روش اصلاح و پرکردن[1] و رسم نمودارهای آن استفاده شد. در واقع، انتشار جانبدارانه یا سوگیری، نوعی خطای سیستماتیک هنگام تلفیق شواهد است (Moher *et al*., 2009; Gurevitch *et al*., 2018.) این امر، زمانی اتفاق می‌افتد که مطالعات در یک فراتحلیل براساس نتایج آن‌ها انتخاب شوند (Bax and Moons, 2011.) به‌طور معمول مطالعاتی که نتایج قابل توجهی ندارند یا اندازه نمونه کوچکتری دارند، نادیده گرفته می‌شوند (Nissen *et al*., 2016). در نتیجه، اگر انتشار جانبدارانه در فراتحلیل وجود داشته باشد، ممکن است برآورد اثر در یک جهت مصنوعی مطلوب و به‌صورت اغراق آمیز، بیان شود (Shi and Lin, 2019). هدف روش اصلاح و پرکردن، تخمین مطالعات گمشده بالقوه می‌باشد. روش اصلاح و پرکردن نه تنها نشان‌دهنده اهمیت سوگیری انتشار است، بلکه نتایج سوگیری تنظیم‌شده را نیز نشان می‌دهد.(Murad *et al*., 2018)

اندازه اثر، پرکاربردترین اصطلاح مورد استفاده در روش فراتحلیل می‌باشد. Cohen (1988) اندازه اثر را "حدی که پدیده مورد نظر در جمعیت موجود است" یا "حدی که فرضیه صفر نادرست است"، تعریف کرده است. در واقع اندازه اثر میزان رابطه بین دو متغیر را

نشان می‌دهد. برای انجام فراتحلیل می‌بایست اندازه اثر و واریانس برای هر تحقیق محاسبه شود و سپس میانگین وزنی این اندازه‌های اثر را محاسبه کنیم (Borenstein *et al*., 2009). سنجه‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری اندازه اثر در آزمون‌های متفاوت وجود دارد، در این پژوهش از سنجه d کوهن برای محاسبه اندازه اثر استفاده شده است. سنجه d کوهن به‌طور عمده برای اندازه‌گیری تفاوت‌های استاندارد بین میانگین‌ها می‌باشد. سنجه d برای محاسبه اندازه اثر بین دو گروه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سنجه از حاصل تقسیم اختلاف میانگین دو گروه بر انحراف معیار کل دو گروه به‌دست می‌آید.

$$\sigma_P = \sigma_{\text{Pooled}} = \sqrt{\left[{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}/{2}\right]}$$

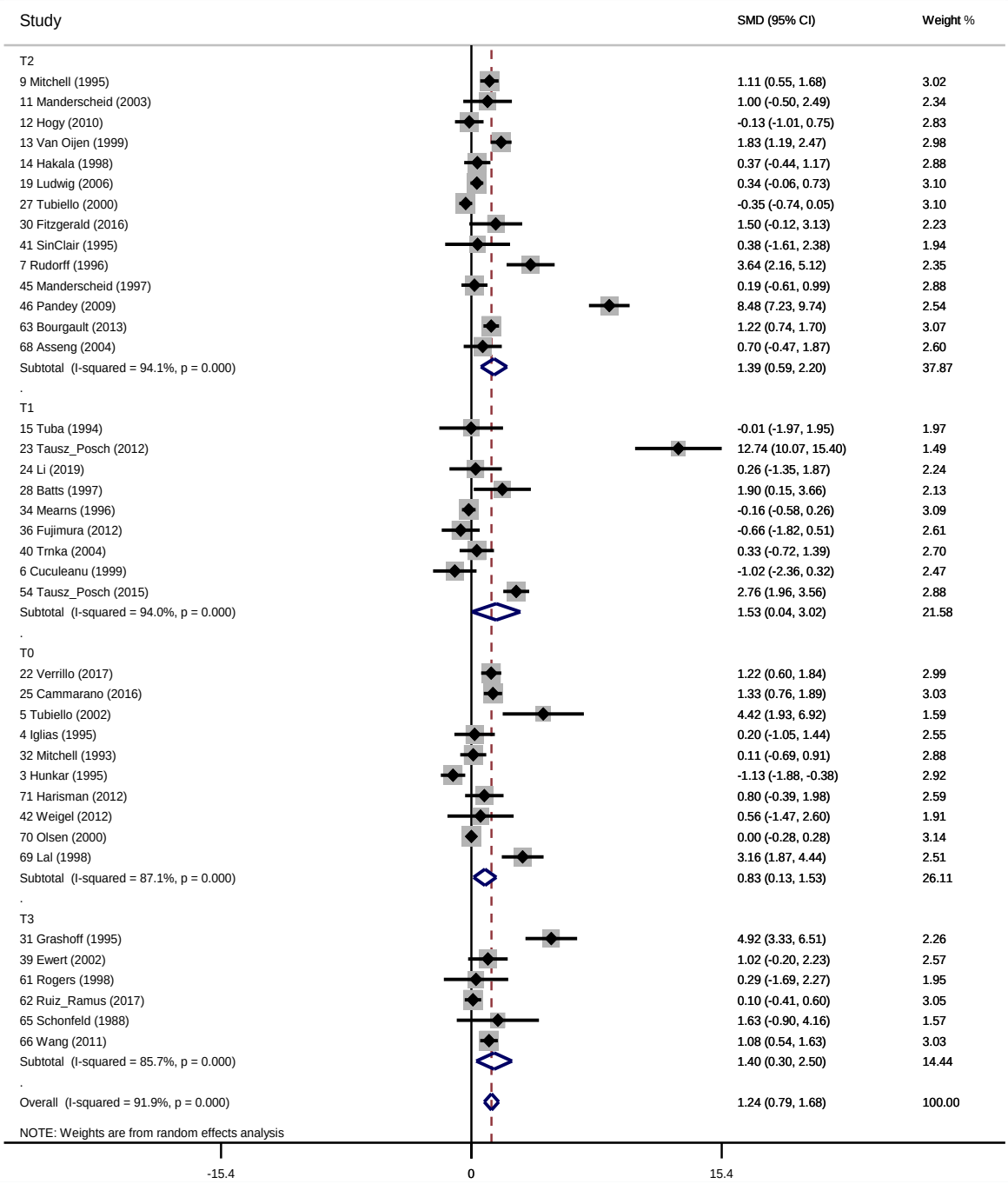
$$d = (M1 - M2)/\sigma_{\text{P}}$$

چنانچه n ها با هم متفاوت باشند، برای محاسبه انحراف استاندارد مشترک و میانگیری شده جامعه (S_P) می‌توان از برآوردکننده بدون اریبی آن بر پایه فرمول زیر استفاده کرد:

$$s_{\text{pooled}} = \sqrt{[(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2 / (n_1 + n_2 - 2)}$$

نتایج و بحث

شکل ۱ از مرور و جمع‌آوری داده‌های ۳۹ تحقیق به‌دست آمده و نمودار درختی مربوط به تأثیر افزایش CO_2 روی عملکرد گندم می‌باشد. اندازه اثر کلی معادل ۱/۲۴ می‌باشد. همچنین مقدار I_2 معادل ۹۱/۹ ٪ می‌باشد که نشان‌دهنده ناهمگونی[۲] بالا در مجموعه مطالعات مورد بررسی است. بیشتر نتایج، نشان دهنده افزایش اندازه اثر در نتیجه اعمال افزایش غلظت CO_2 می‌باشند. کمترین اندازه اثر ۱/۱۳- و بیشترین اندازه اثر ۱۲/۷۴ می‌باشد. بیشتر مطالعات شامل مطالعات شماره، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۹، ۳۰، ۴۱، ۷، ۴۵، ۴۶، ۶۳،۶۸، ۲۳، ۲۴، ۲۸، ۴۰، ۵۴، ۲۲، ۲۵، ۵، ۴، ۳۲، ۷۱، ۴۲، ۷۰، ۶۹، ۳۱، ۳۹، ۶۱، ۶۲، ۶۵ و ۶۶ دارای مقادیر اندازه اثر بیش از صفر می‌باشند و همگی دارای وزن‌های بالاتر هستند. این امر بیانگر تأثیرپذیری بیشتر نتیجه نهایی از این مطالعات دارد. از موارد بالا استنباط می‌شودکه اندازه اثر نهایی بیشتر در نتیجه مطالعاتی با اندازه نمونه بالاتر، دقت بیشتر و در عین حال اندازه اثر کمتر بوده است. همان طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود مقاله شماره ۲۳، Tausz-Posch (2012) دارای بیشترین اندازه اثر، معادل ۱۲/۷۴ می‌باشد. اینکه بیشتر مقاله‌ها دارای اندازه اثر مثبت هستند، بدین معنی است که نتایج بیشتر مقاله‌ها نشان‌دهنده افزایش عملکرد گندم در نتیجه افزایش غلظت CO_2 می‌باشد. همچنین مقاله شماره ۷۰، Olsen (2000) دارای بیشترین وزن معادل ۳/۱۴ می‌باشد که بدین معنی است که این مقاله بیشترین تأثیر را بر نتایج ما می‌گذارد. مقاله شماره ۲۳، Tausz-Posch (2012) دارای کمترین وزن معادل ۱/۴۹ می‌باشد، بدین معنی که نتیجه این مقاله کمترین تأثیر را در نتیجه نهایی دارد. همچنین مطالعات شامل شماره‌های ۹، ۱۳، ۱۹، ۲۲، ۲۵، ۲۷، ۳۴، ۳، ۷۰، ۶۳، ۶۲ و ۶۶ دارای کمترین فاصله اطمینان می‌باشند که بیانگر دقت بالای نتیجه این مطالعات می‌باشد. همچنین مطالعات شامل شماره‌های ۹، ۱۳، ۷، ۴۶، ۶۳، ۲۳، ۲۸، ۵۴، ۲۲، ۲۵، ۵، ۶۹، ۳۱ و ۶۶ خط فرضی صفر را قطع نکرده‌اند که بیانگر آن است که نتایج این مطالعات به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. با توجه به شکل ۱، دو گروه T2 (۲۵-۱۵) و T1 (۱۵_۵) دارای اثر اندازه نهایی بیشتری (حدود ۱/۵) هستند، این مطلب نشان می‌دهدکه عملکرد گندم با افزایش درجه حرارت تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. همچنین گروه T0, که در مقاله‌های این گروه به درجه حرارت اشاره‌ای نشده است، دارای کمترین اثر اندازه (۰/۸۳) می‌باشد. پس می‌توان این‌گونه استنباط کرد که عملکرد گیاه گندم با افزایش درجه حرارت بین ۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با افزایش غلظت CO_2 در این دامنه دمایی، افزایش خواهد یافت.

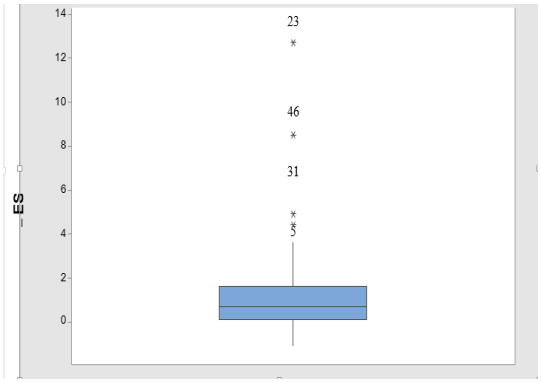


شکل ۱- نمودار درختی تأثیر افزایش CO_2 روی عملکرد گیاه گندم

Fig. 1- Forest plot of the effect of increasing CO_2 on wheat crop yield

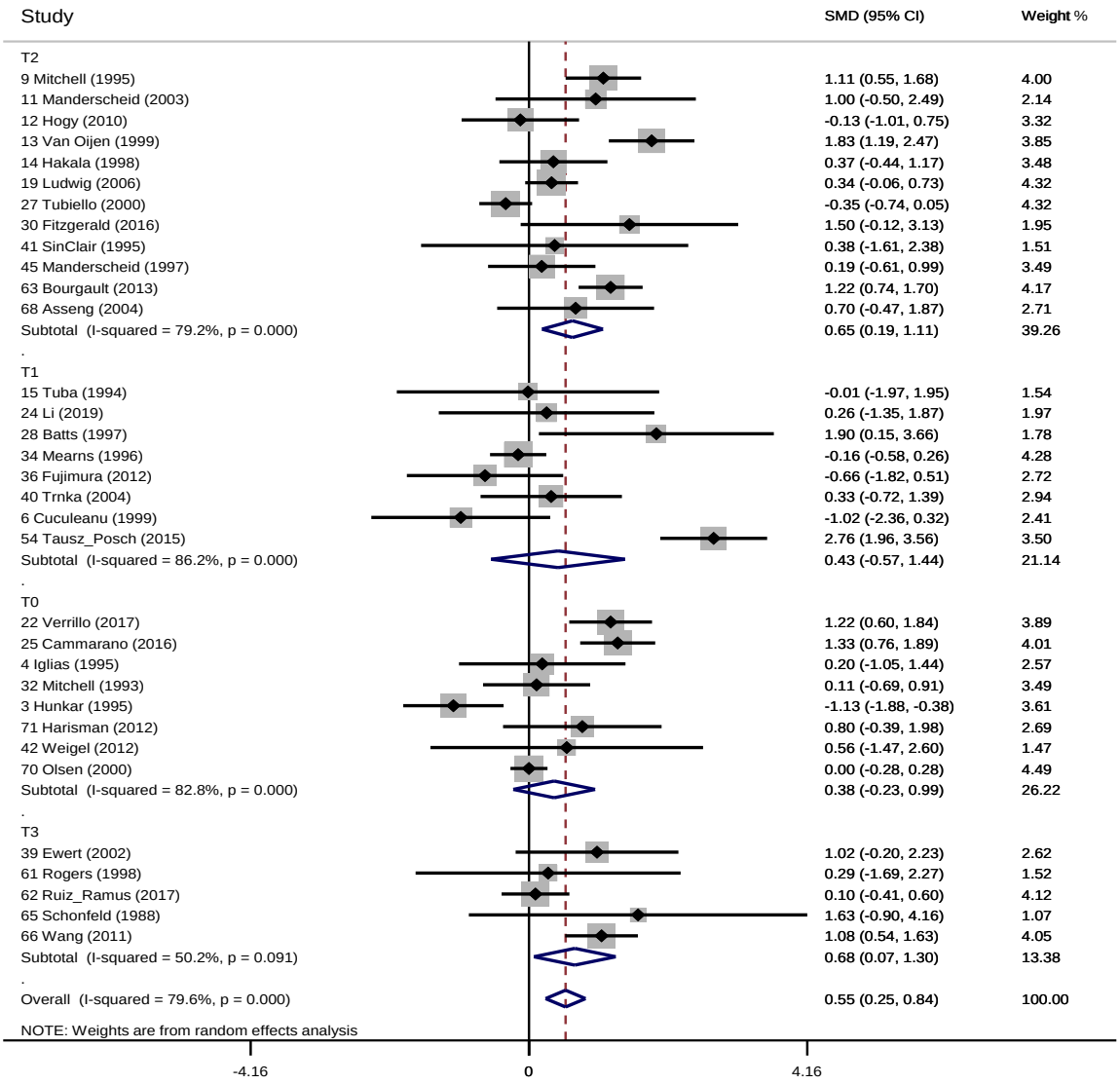
در این مطالعه، جهت برطرف کردن مشکل ناهمگونی بالای مقاله‌های مورد مطالعه (۹۱/۹ ٪) که به‌دلیل عدم وجود آزمایش‌های مرتبط مشابه بود، اقدام به شناسایی و حذف داده‌های پرت شد. بدین ترتیب که اندازه اثر مطالعات به نرم افزار Minitap17 انتقال یافت و برای آن‌ها نمودار جعبه‌ای[۳] رسم شد. در این نمودار ۴ داده پرت یافت شد (مطالعات شماره‌های ۲۳، ۴۶، ۳۱ و ۵) که ویژگی‌های آن‌ها یادداشت شده و در نرم افزار

Stata در میان داده‌ها مشخص شدند. سپس با استفاده از گزینه حذف داده‌ها (Drop data)، داده‌ها حذف شدند. دوباره بعد از حذف این داده‌ها، نمودار جعبه‌ای برای باقی داده‌ها رسم شد و ۲ داده پرت دیگر (مطالعات شماره‌های ۶۹ و ۷) نیز یافت شد. ویژگی‌های این داده‌ها نیز یادداشت شده و در نرم افزار Stata از میان داده‌ها پیدا شده و دوباره حذف شدند. هدف از حذف داده‌های پرت، پایین آوردن میزان ناهمگونی و رسیدن به نتایجی دقیقتر بود.



شکل ۲- نمودار جعبه‌ای تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گیاه گندم

Fig. 2- Box plot of the effect of increasing CO_2 on wheat crop yield

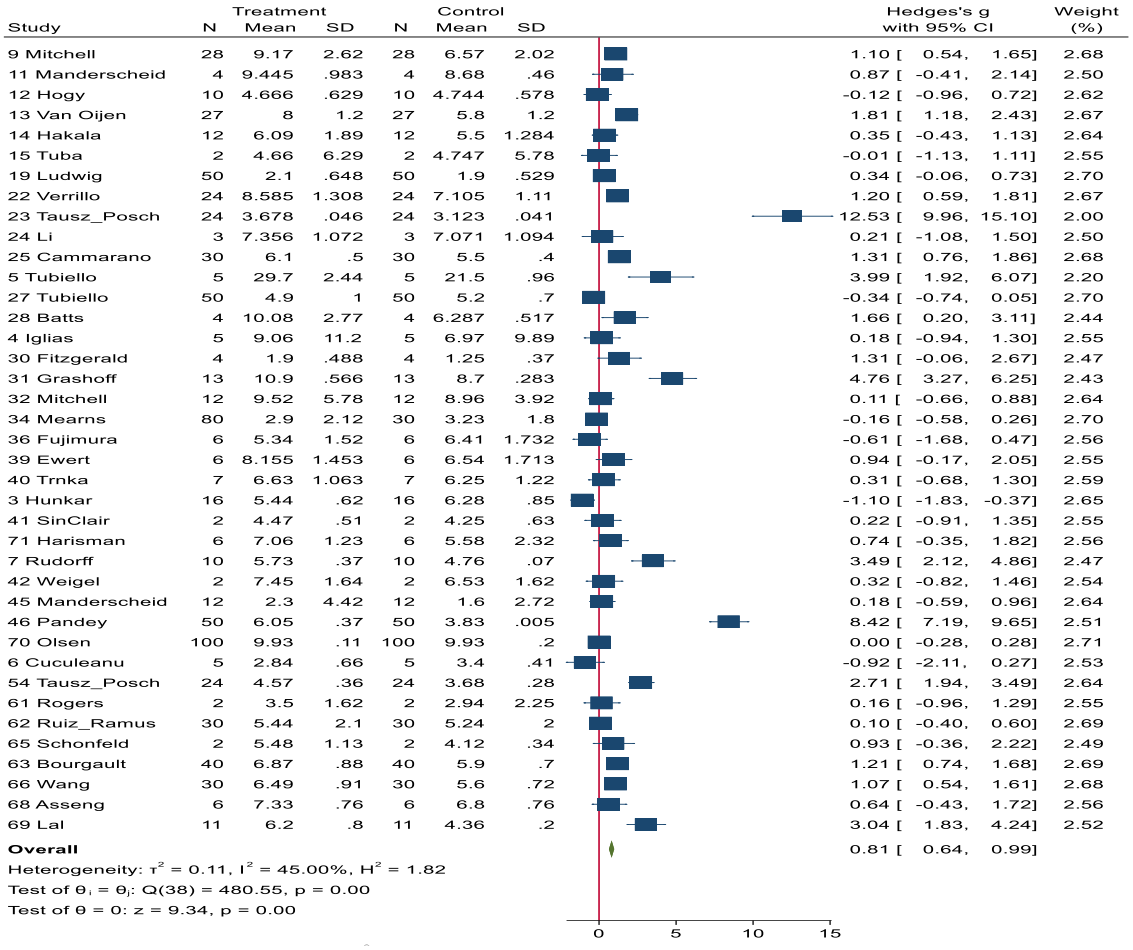


شکل ۳- نمودار درختی تأثیر افزایش CO_2 روی عملکرد گیاه گندم بعد از حذف داده‌های پرت

Fig. 3- Forest plot of the effect of increasing CO_2 on wheat crop yield after deleting outlier data

شکل۳، نمودار درختی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم در ۳۲ مقاله باقی مانده بعد از حذف داده‌های پرت را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اندازه اثر کلی ۰/۵۵ می‌باشد که در مقایسه با شکل ۱ بعد از حذف داده‌های پرت کاهش یافته است. اندازه اثر کلی مثبت بیانگر افزایش عملکرد در نتیجه افزایش غلظت CO_2 می‌باشد. همچنین مقدار I_2 معادل ۷۹/۶ ٪ است که نشان دهنده میزان ناهمگونی به‌نسبت بالا ولی قابل قبول است، زیرا نسبت به‌شکل ۱، میزان ناهمگونی کاهش یافته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با حذف داده‌های پرت میزان ناهمگونی از ۹۱/۹ ٪ به میزان ۷۹/۶ ٪ کاهش یافته است. با نگاه کلی درمی‌یابیم که نتایج بیشتر مطالعات نشان دهنده افزایش عملکرد در نتیجه افزایش غلظت CO_2 می‌باشد. کمترین اندازه اثر ۱/۱۳- و بیشترین اندازه اثر ۲/۷۶ می‌باشد. بیشتر مطالعات مانند مطالعات شماره‌های ۹، ۱۳، ۲۲، ۲۵، ۲۸، ۵۴، ۶۳، ۶۶ و ۶۸ دارای اندازه اثر مثبت می‌باشند. نتایج این مقاله‌ها گویای افزایش عملکرد گیاه گندم در نتیجه افزایش غلظت CO_2 می‌باشند. همچنین در مقایسه شکل ۳ و شکل ۱، در می‌یابیم که همه مطالعاتی که در شکل ۱ دارای اندازه اثر مثبت بودند، در شکل ۳ نیز دارای اندازه اثر مثبت بودند و مقاله‌هایی که در شکل ۳ در گروه مطالعات با اندازه اثر مثبت قرار نگرفته‌اند، مقاله‌هایی هستند که به‌عنوان داده پرت، حذف شدند. همچنین مطالعات شماره ۱۲، ۳۰، ۱۵، ۳۴، ۳۶، ۶ و ۳ دارای اندازه اثر منفی می‌باشند. در مطالعات با اندازه اثر منفی، با افزایش غلظت CO_2 عملکرد گندم کاهش می‌یابد. همچنین مقاله شماره ۷۰، Olsen (2000) دارای اندازه اثر صفر می‌باشد. اندازه اثر صفر نشان دهنده این است که در این مطالعه، افزایش غلظت CO_2 تأثیری روی عملکرد گندم نداشته است. می‌توان نتیجه گرفت هرچه در یک مطالعه، اندازه نمونه بالاتر، دقت بیشتر و در عین حال اندازه اثر کمتر باشد، اندازه اثر نهایی بیشتر خواهد بود. همچنین مقاله شماره ۷۰، Olsen (2000) دارای بیشترین وزن معادل ۴/۴۹ می‌باشد که بیانگر آن است که نتیجه این مطالعه در نتایج ما بیشترین تأثیر را داشته است. همچنین مقاله شماره ۶۵، Schonfeld (1998) دارای کمترین وزن معادل ۱/۰۷ است و در نتیجه از بین تمام مطالعات، این مطالعه کمترین تأثیر را روی نتیجه مطالعه حاضر داشته است. همچنین از بین تمام مطالعات، مطالعات شماره ۲۷، ۶۳ و ۳۴ دارای کمترین فاصله اطمینان می‌باشند که بیانگر دقت بالای این مطالعات است. نتایج مطالعات شماره ۹، ۱۳، ۶۳، ۲۸، ۲۲، ۲۵ و ۳ به‌دلیل قطع نکردن خط فرض صفر به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. همچنین با توجه به شکل ۳ بعد از حذف داده‌های پرت، دو گروه T2 (۱۵-۲۵) و T3 (۳۵_۲۵) دارای اثر اندازه نهایی بیشتری (حدود ۱/۶) می‌باشند، که نشان می‌دهد با افزایش درجه حرارت تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد عملکرد گندم افزایش می‌یابد. همچنین گروه T0 که در مقاله‌های این گروه به درجه حرارت اشاره‌ای نشده است، دارای کمترین اثر اندازه (۰/۳۸) می‌باشد. بنابراین می‌توان این‌گونه استنباط کرد که عملکرد گیاه گندم با افزایش درجه حرارت بین ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و با افزایش غلظت CO_2 در این دامنه دمایی، افزایش می‌یابد. همچنین با بررسی دوباره مقاله‌هایی که به‌عنوان داده پرت حذف شدند به این نکته پی‌برده شد که این مقاله‌ها دارای اندازه نمونه بسیار کوچکی می‌باشند، در نتیجه دقت این مطالعات بسیار پایین بوده و در نتیجه نتایج آن‌ها نیز قابل اعتماد نیست.

با توجه به ناهمگونی در بین مطالعات می‌توان از روش دیگر به نام آنالیز حساسیت که در Stata 16 امکان انجام آن وجود دارد، استفاده کرد. بدین ترتیب که از این طریق میزان ناهمگونی را به ۴۵ ٪ که میزان قابل قبولی است، تغییر می‌دهیم و سپس نتایج را بررسی می‌کنیم. اگر انجام آنالیز حساسیت نتایج را تغییر ندهد، اعتماد به نتایجی قبلی را تقویت می‌کند. اگر نتایج به روشی تغییر کند که منجر به نتیجه‌گیری‌های مختلف شود، این نشان می‌دهد که نیاز به احتیاط بیشتر در تفسیر نتایج و نتیجه‌گیری لازم است یا ممکن است نتایج مطالعات قبلی بیشتر براساس فرضیه باشد (Tharyan, 1998).

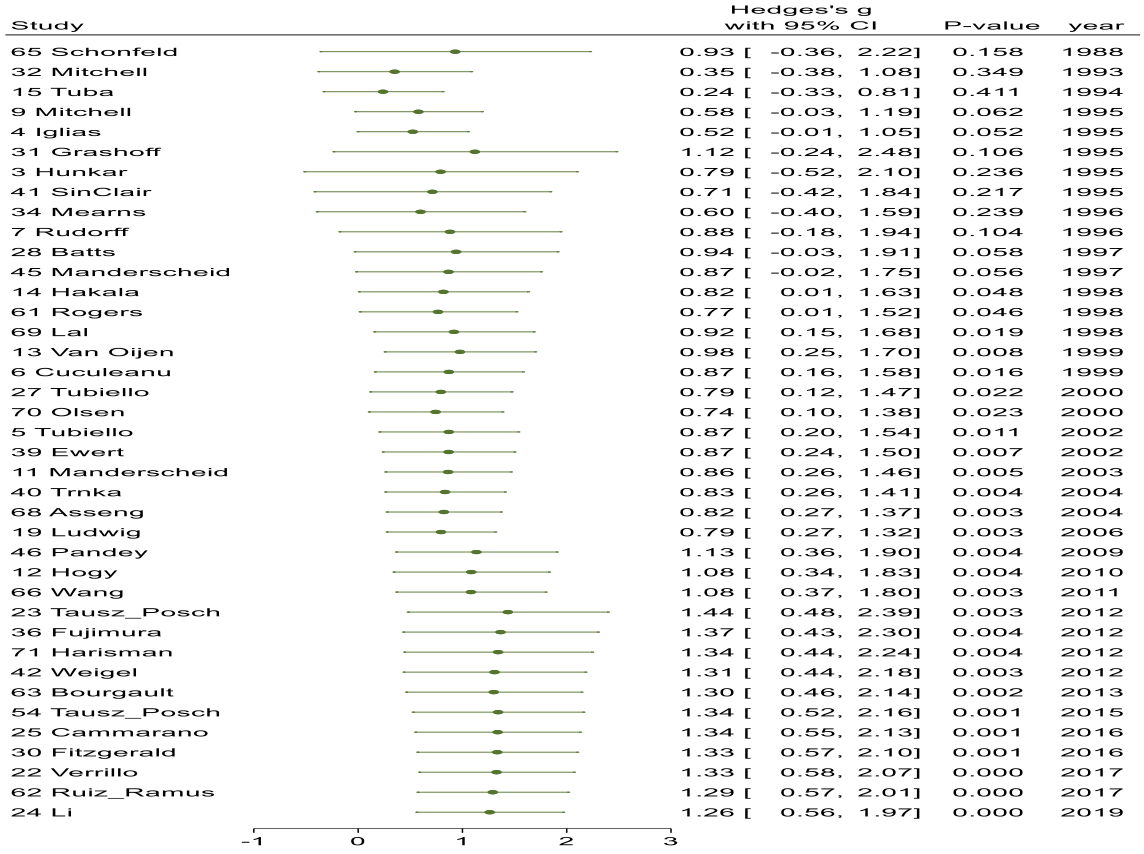


شکل ۴- نمودار درختی تأثیر افزایش CO_2 روی عملکرد گیاه گندم بعد از انجام آنالیز حساسیت

Fig. 4- Forest plot of the effect of increasing CO_2 on wheat crop yield after sensitivity analysis

شکل ۴ نمودار درختی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گیاه گندم بعد از انجام آنالیز حساسیت را نشان می‌دهد. بعد از انجام آنالیز حساسیت میزان I_2 معادل ۴۵ ٪ است که میزان قابل قبولی از ناهمگونی در بین مطالعات است. همچنین اندازه اثر نهایی۰/۸۱ می‌باشد، بنابراین نتیجه می‌گیریم با افزایش غلظت CO_2 عملکرد گندم افزایش می‌یابد. کمترین اندازه اثر ۱/۱- و بیشترین اندازه اثر ۱۲/۵۳ می‌باشد. از میان ۳۹ مطالعه مورد بررسی در این مطالعه، ۳۷ مطالعه مانند مطالعات شماره‌های ۹، ۱۳، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۵، ۲۸، ۳۱، ۷، ۴۶، ۵۴، ۶۳، ۶۶ و ۶۹ ۶۸ دارای اندازه اثر مثبت می‌باشند، نتایج این مطالعات گویای افزایش عملکرد گیاه گندم در نتیجه افزایش غلظت CO_2 بوده است. همچنین تعداد کمی از مطالعات از جمله شماره‌های ۱۲، ۱۵، ۲۷، ۳۴ و ۳۶ دارای اندازه اثر منفی می‌باشند که بیانگر کاهش عملکرد گندم با افزایش غلظت CO_2 می‌باشد. همچنین مقاله شماره ۷۰ دارای اندازه اثر صفر می‌باشد، که نشان می‌دهد در این مطالعه افزایش غلظت CO_2 تأثیری بر عملکرد گندم نداشته است. مقاله شماره ۷۰،Olsen (2000) دارای بیشترین وزن معادل ۲/۷۱ می‌باشد بدین معنی که این مطالعه در نتایج مطالعه حاضر، بیشترین تأثیر را دارا می‌باشد. آنچه می‌توان از موارد بالا استنباط کرد آن است که اندازه اثر نهایی بیشتر در نتیجه مطالعاتی با اندازه نمونه

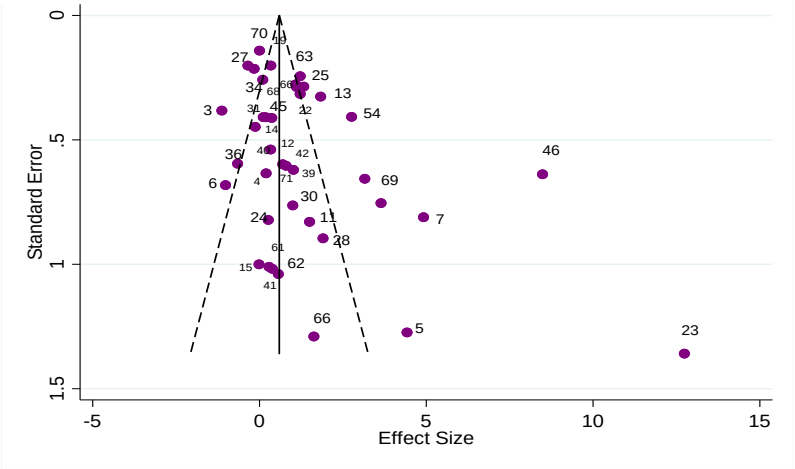
بالاتر، دقت بیشتر و در عین حال اندازه اثر کمتر بوده است. همچنین مطالعه شماره ۲۳، Tausz-Posch (2012) دارای کمترین وزن معادل ۲ می‌باشد. همچنین بیشتر مطالعات دارای فاصله اطمینان بسیار کوچکی هستند که به‌معنی دقت بالای این مطالعات است. بیشترین فاصله اطمینان را مطالعه شماره ۲۳، Tausz-Posch (2012) دارد که بیانگر دقت پایین این مطالعه است. همچنین مطالعات شماره‌های ۹، ۱۳، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۵، ۲۸، ۳۱، ۷، ۴۶، ۵۴، ۶۳، ۶۶ و ۶۹ خط فرض صفر را قطع نکرده‌اند که به‌معنی آن است که نتایج این مطالعات به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. در مجموع با انجام آنالیز، حساسیت ناهمگونی بین مطالعات کاهش یافته و همچنین دقت مطالعات و در نتیجه آن، دقت نتایج به‌دست آمده، بیشتر شده است.



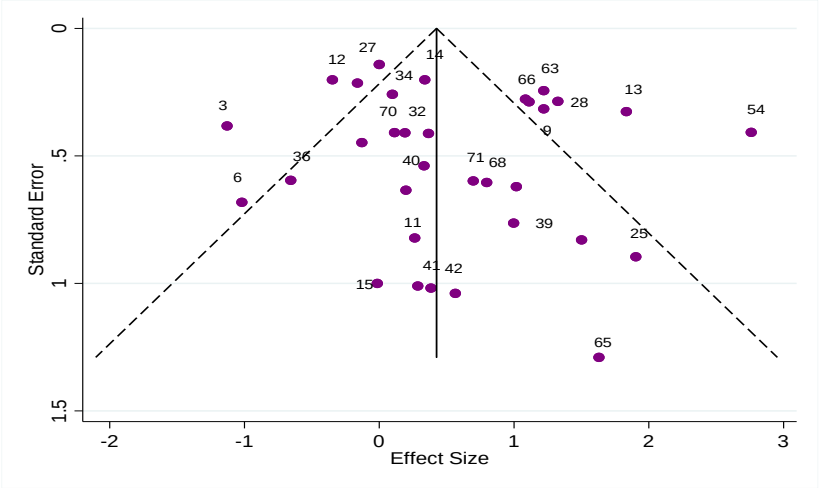
شکل ۵- نمودار درختی تأثیر افزایش CO_2 روی عملکرد گیاه گندم به‌ترتیب سال

Fig. 5- Forest plot of the effect of increasing CO_2 on wheat crop yield in an increasing order of year

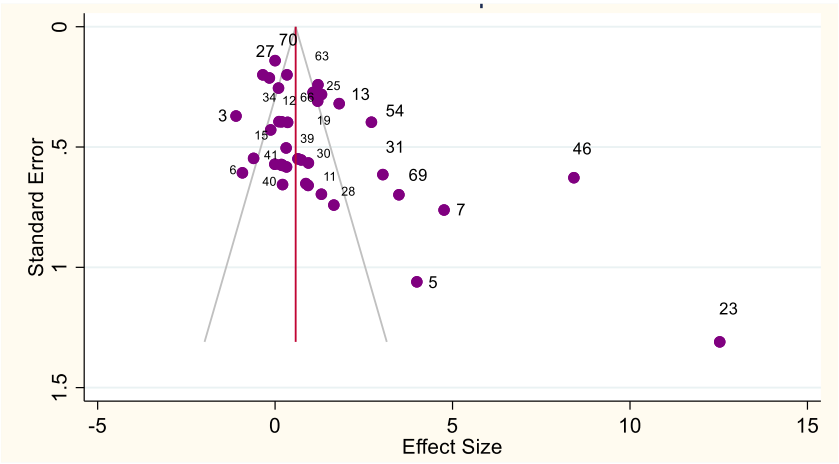
شکل ۵، نمودار درختی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گیاه به‌ترتیب سال را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، مطالعات مورد استفاده در این مطالعه بین سال‌های ۲۰۱۹ - ۱۹۸۸ می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌شود مقاله‌های قدیمی‌تر، دارای اندازه اثرهای کوچکتر و درنتیجه دقت کمتری هستند. همچنین p-value این مقاله‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار نیستند. دقت پایین مطالعات قدیمی‌تر می‌تواند به‌دلیل خطا در نمونه‌گیری و یا به‌دلیل شرایط انجام آزمایش این مطالعات باشد. بنابراین استناد به نتایج این مطالعات نیز با دقت کمتری همراه است. اما مطالعات جدیدتر (از سال ۲۰۰۰ تا به امروز) دارای اندازه اثرهای بزرگتر و در نتیجه نتایج دقیقتری هستند. همچنین p-value این مطالعات نیز به‌لحاظ آماری معنی‌دار هستند. در نتیجه، نتیجه‌گیری با استناد به نتایج این مطالعات با دقت بیشتری همراه است.



a



b



c

شکل ۶- (a) نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گیاه گندم. (b) نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گیاه گندم بعد از حذف داده‌های پرت. (c) نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گیاه گندم بعد از انجام آنالیز حساسیت

Fig. 6- Funnel plot of the effect of increasing CO_2 concentration on wheat crop yield. (b) Funnel plot of the effect of increasing CO_2 concentration on wheat crop yield after deleting outlier data. (c) Funnel plot of the effect of increasing CO_2 concentration on wheat plant yield after sensitivity analysis

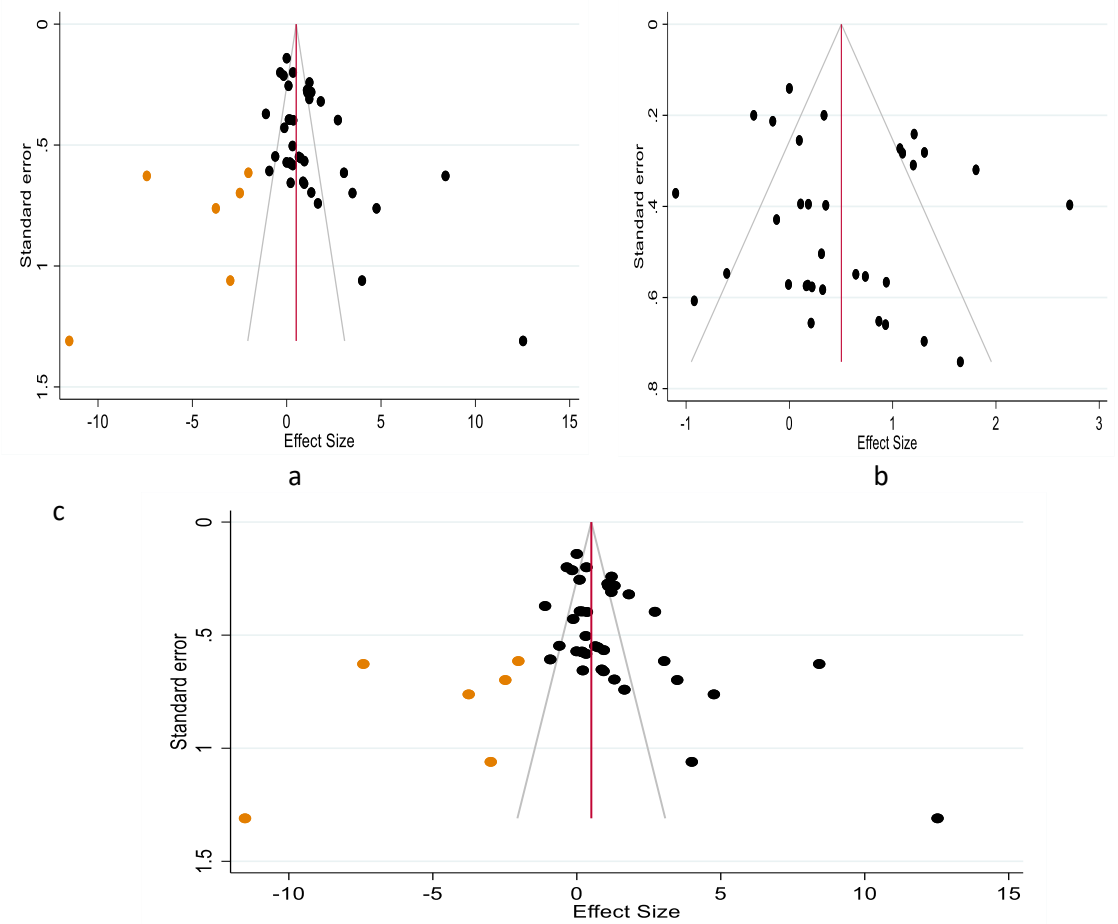
شکل ۶، نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم را نشان می‌دهد. با نگاه کلی به نمودار (a) در می‌یابیم که این نمودار اریب یا یکجانبه بودن، مطالعات گزارش شده را نشان می‌دهد. بیشتر مطالعات در قسمت بالای نمودار تجمع پیدا کرده‌اند و همان‌طور که مشاهده می‌شود تعدادی از آن‌ها در خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند. این مطالعات دارای تعداد نمونه بیشتر و دقت بالاتر هستند. در میانه نمودار، تجمع مطالعات کمتر است و در انتهای نمودار به حداقل پراکندگی رسیده است. این مطالعات دارای اندازه نمونه کمتر و دقت پایینتر هستند. در مجموع پراکنش مطالعات به‌صورت یکنواخت نمی‌باشد. مطالعات شماره ۷۰ Olsen (2000)، ۲۷ Tubiello (2000)، ۳۴، Mearns (1996) و ۶۳، Bourgault (2013) بالاتر از سایر نقاط قرار گرفته‌اند، این بدین معنی است که این مطالعات دارای خطای استاندارد کوچکتری هستند که درنتیجه اندازه نمونه بیشتر و دقت بیشتر این مطالعات می‌باشد. اما این مطالعات در خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند که بدین معنی است که این نتایج به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند. مطالعه شماره ۱۹، Ludwig (2006) و مطالعه شماره ۶۸، Asseng (2004) در بالای نوک هرم واقع شده‌اند. این دو مطالعه نسبت به دیگر مطالعات بررسی شده دارای خطای استاندارد کوچکتر، اندازه نمونه بزرگتر و دقت بیشتری هستند و با قرار گرفتن در فاصله اطمینان ۹۵ درصد، نتایج آن‌ها به لحاظ آماری نیز معنی‌دار می‌باشند. مطالعه شماره ۶۶، Wang (2012) که در پایین نمودار قرار گرفته است، در مقایسه با سایر مطالعات، خطای استاندارد بزرگتر، اندازه نمونه کوچکتر و دقت کمتری دارد. مقاله شماره ۲۳، Tausz-Posch (2012) در نزدیکی پایین نمودار، دارای خطای استاندارد بزرگتر، اندازه نمونه کوچکتر و دقت کمتر می‌باشد. این مقاله از فاصله اطمینان ۹۵ درصدی مورد نظر فاصله زیادی دارد که بیانگر معنی‌دار نبودن نتایج آن است. در مجموع مشاهده می‌شود که تعداد مقاله‌ها با اندازه نمونه بیشتر و در نتیجه آن دقت بیشتر، بیش از تعداد مقاله‌ها با اندازه نمونه کمتر و دقت کمتر می‌باشد و پراکنش مطالعات در فاصله اطمینان ۹۵ درصد به‌صورت یکنواخت نمی‌باشد. این امر نشان‌دهنده سوگیری جانبدارانه[۴] در بیان نتایج مطالعات بررسی شده می‌باشد، بدین معنی که چه‌بسا نویسندگان این مطالعات سعی بر نشان دادن افزایش عملکرد گندم در نتیجه افزایش غلظت CO_2 داشته‌اند. همچنین ممکن است این نتیجه به‌دلیل ناهمگونی بالا (۹۹/۱ ٪) در میان مطالعات باشد. در مجموع مطالعات با اندازه نمونه کمتر و دقت پایینتر، اندازه اثر CO_2 روی عملکرد گندم را بیشتر از آنچه باید باشد گزارش داده‌اند، در حالیکه بیشتر مطالعات با اندازه بیشتر و دقت بالاتر اندازه اثر CO_2 روی عملکرد گندم را کمتر گزارش داده‌اند که به واقعیت نیز نزدیکتر می‌باشد.

شکل ۶ (b)، نمودار قیفی اثر افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم را بعد از حذف داده‌های پرت نشان می‌دهد. در این نمودار قیفی، در مجموع بیشتر مطالعات گزارش شده در قسمت بالایی نمودار تجمع پیدا کرده‌اند که نشان می‌دهد دارای اندازه نمونه بیشتر و دقت بالاتر می‌باشند. تعدادی از مطالعات نیز در قسمت پایینی نمودار قرار گرفته‌اند که این مطالعات دارای اندازه نمونه کمتر و دقت پایینتری می‌باشند. همچنین در مقایسه نمودار b و نمودار a، با حذف داده‌های پرت مطالعات در فاصله اطمینان ۹۵ درصد به‌صورت یکنواخت‌تری پراکنده شده‌اند. مطالعه شماره ۲۷، Tubiello (2000)و مطالعه شماره ۱۲، Hogy (2010) بالاتر از سایر نقاط قرار گرفته‌اند، این بدین معنی است که این مطالعات نسبت به دیگر مطالعات، خطای استاندارد کوچکتر، اندازه نمونه بزرگتر و دقت بیشتری دارند. اما این مطالعات در خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند که بدین معنی است که نتایج آن‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند. مطالعات شماره ۱۴، Hakala (1998) و مقاله شماره

۳۴، Mearns (1996) در بالای نوک هرم واقع شده‌اند. این مقاله‌ها دارای خطای استاندارد کوچکتر، در نتیجه اندازه نمونه بزرگتر و دقت بیشتری هستند. همچنین آن‌ها در فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند، بدین معنی که نتایج این مطالعات به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. مطالعه شماره ۶۵، Schonfeld (1998) که در پایین نمودار قرار گرفته است دارای خطای استاندارد بزرگتر، اندازه نمونه کوچکتر و دقت کمتر می‌باشد. در مجموع مشاهده می‌شود که بیشتر مطالعات در قسمت میانی نمودار و در جهت مثبت واقع شده‌اند. این مطالعات که در قسمت میانی نمودار و در جهت مثبت واقع شده‌اند، دارای خطای استاندارد به‌نسبت کمتر، اندازه نمونه و دقت بیشتری هستند. همچنین این مطالعات در فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند، بدین معنی که نتایج این مطالعات به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد. قرار گرفتن این مطالعات در جهت مثبت نمودار بیانگر تأثیر مثبت افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم می‌باشد. همچنین مطالعات شماره‌های ۴۶ و ۲۳ که در شکل ۶ در خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد مشاهده می‌شوند، جزء مطالعاتی بودند که به‌عنوان داده پرت حذف شده‌اند، بنابراین در نمودار b دیده نمی‌شوند. همچنین در نمودار b با حذف داده‌های پرت و کاهش ناهمگونی از ۹۹/۱ ٪ به ۷۹/۶ ٪ در مقایسه با نمودار a، پراکنش مطالعات یکنواخت‌تر و در نتیجه نمودار شکل نرمال‌تری دارد، که این امر درنتیجه کاهش سوگیری جانبدارانه نیز می‌باشد. در واقع، شاید نویسندگانی که مطالعات آن‌ها به‌عنوان داده پرت حذف شده‌اند، سعی در بزرگنمایی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم داشته‌اند و این امر سبب سوگیری جانبدارانه در نتیجه مطالعات و در نتیجه به‌وجود آمدن ناهمگونی در میان آن‌ها شده بود. در مجموع مطالعات با اندازه نمونه کمتر و دقت پایینتر، اندازه اثر CO_2 روی عملکرد گیاه گندم را بیشتر از آنچه باید باشد گزارش داده‌اند، در حالیکه بیشتر مطالعات با اندازه بیشتر و دقت بالاتر اندازه اثر CO_2 روی عملکرد گندم را کمتر گزارش داده‌اند که به واقعیت نیز نزدیکتر می‌باشد.

شکل ۶ (c)، نمودار قیفی اثر افزایش غلظت CO_2 بر عملکرد گندم بعد از انجام آنالیز حساسیت را نشان می‌دهد. در نگاه کلی مشاهده می‌شود که بیشتر مطالعات در قسمت بالایی نمودار قیفی تجمع پیدا کرده‌اند، این مطالعات دارای اندازه نمونه بیشتر و دقت بالاتری هستند. تعداد بسیار کمی از مطالعات در قسمت پایینی سمت راست نمودار و در خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند، که این مطالعات دارای اندازه نمونه کمتر و دقت پایینتری می‌باشند. در مجموع مطالعات گزارش شده در این نمودار قیفی پراکنش یکنواختی ندارند. مطالعه شماره ۷۰، Olsen (2000) و مطالعه شماره ۲۷، Tubiello (2000) بالاتر از سایر نقاط قرار گرفته‌اند، این نشان دهنده خطای استاندارد کوچکتر، اندازه نمونه بزرگتر و دقت بیشتر آن‌ها می‌باشد. اما این مطالعات در خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند، این بدین معنی است که نتایج این‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند. مطالعه شماره ۶۶، Wang (2012) و مطالعه شماره ۳۴، Mearns (1996) در بالای نوک هرم واقع شده‌اند. که دارای خطای استاندارد کوچکتر، در نتیجه اندازه نمونه بزرگتر و دقت بیشتری هستند. همچنین در فاصله اطمینان ۹۵ درصد واقع شده‌اند، بدین معنی که نتایج آن‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشند. مطالعه شماره ۲۳، Tausz-Posch (2012)که در پایین نمودار قرار گرفته است دارای خطای استاندارد بزرگتر، اندازه نمونه کوچکتر و دقت کمتر می‌باشد. همچنین این مطالعه خارج از نمودار قیفی واقع شده است، که بدین معنی است که نتیجه این مطالعه به‌لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در مجموع مشاهده می‌شود که بیشتر مطالعات در قسمت میانی نمودار و در جهت مثبت واقع شده‌اند و خطای استاندارد به‌نسبت کمتر، اندازه نمونه بیشتر و دقت بیشتر دارند. همچنین تعدادی از مطالعات نیز با وجود کاهش ناهمگونی از طریق انجام

روش آنالیز حساسیت، خارج از فاصله اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند. این نشان می‌دهد که نتایج این مطالعات به‌لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. این امر می‌تواند به‌دلیل سوگیری جانبدارانه نویسندگان آن‌ها در تلاش برای مثبت نشان دادن تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم باشد. همچنین بیشتر مطالعات در جهت مثبت نمودار واقع شده‌اند که بیانگر تأثیر مثبت افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که با استفاده از روش آنالیز حساسیت و کاهش ناهمگونی (۴۵ ٪) و در مقایسه با نمودار a، پراکنش مطالعات در نمودار، تغییر چندانی نداشته است، فقط مطالعاتی که در نمودار a در قسمت پایین نمودار قیفی قرارگرفته بودند، با کاهش ناهمگونی در بین مطالعات در قسمت‌های بالاتر واقع شده‌اند. این امر می‌تواند به‌دلیل تأثیر آن‌ها بر یکدیگر به‌دلیل ناهمگونی و کافی نبودن مطالعات باشد. در مجموع مطالعات با اندازه نمونه کمتر و دقت پایینتر اندازه اثر CO_2 روی عملکرد ه گندم را بیشتر از آنچه باید باشد، گزارش داده‌اند، در حالیکه بیشتر مطالعات با اندازه بیشتر و دقت بالاتر اندازه اثر CO_2 روی عملکرد گندم را کمتر گزارش داده‌اند که به واقعیت نیز نزدیکتر می‌باشد. با توجه به نمودارهای a، b و c مشاهده می‌شود که پراکنش مطالعات در این نمودارهای قیفی به‌صورت یکنواخت نبوده است. همچنین در مجموع در میان مطالعات مورد بررسی نتایج اریب یا جانبدارانه مشاهده می‌شود، بدین معنی‌که تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم را بالاتر از صفر و مثبت نشان می‌دهند.



شکل ۶- نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گیاه گندم بعد ازانجام روش اصلاح و پرکردن، (a) با داده‌های اصلی، (b) بعد از حذف داده‌های پرت، (c) بعد از انجام آنالیز حساسیت

Fig. 7- Funnel plot of the effect of increasing CO2 concentration on wheat plant yield after using trim and fill, (a) on main data, (b) after deleting outlier data, (c) after sensitivity analysis

شکل ۷، نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گیاه گندم بعد از انجام CO_2 روش اصلاح و پرکردن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل a مشاهده می‌شود. بعد از انجام روش اصلاح و پرکردن، ۶ نقطه که با رنگ نارنجی مشخص شده است، اضافه شده است. این نقاط، مطالعات گمشده‌ای هستند که برای ایجاد تقارن در نمودار، نیاز به جایگذاری دارند.

وجود این نقاط نشان دهنده سوگیری در جهت مثبت در مطالعات قبلی می‌باشد، بدین معنی که در آینده اثر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم مقادیر بالاتر از صفر خواهد شد.

شکل ۷ (b)، نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم بعد از انجام روش اصلاح و پرکردن و بعد از حذف داده‌های پرت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ (b)، بعد از حذف داده‌های پرت، داده‌های گمشده در نمودار مشاهده نمی‌شود و مطالعات دارای پراکنش یکنواخت می‌باشند. این امر شاید به‌دلیل آن است که بعد از حذف داده‌های پرت، عدم یکنواختی در پراکنش داده‌ها مشاهده نمی‌شود و در نتیجه داده‌های گمشده درنمودار دیده نمی‌شود.

شکل ۷ (c)، نمودار قیفی تأثیر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گیاه گندم بعد از انجام روش اصلاح و پرکردن و بعد از انجام آنالیز حساسیت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ (c)، بعد از انجام آنالیز حساسیت نیز، سوگیری در جهت مثبت مشاهده می‌شود. همچنین نقاط نارنجی نشان‌دهنده مطالعات گمشده مورد نیاز برای ایجاد تقارن در نمودار قیفی می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌شود در جهت منفی نمودار نیاز به جایگذاری۶ مطالعه گمشده می‌باشد. بدین معنی‌که نتایج مطالعات مورد بررسی، سوگیری جانبدارانه در جهت مثبت داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر سعی شده است که اثر افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم به روشی متفاوت‌تر و جامع‌تر از مطالعات پیشین در این زمینه مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور در این مطالعه از روش فراتحلیل برای بررسی افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم استفاده شد. نتایج فراتحلیل نشان داد که در مورد عملکرد گندم اندازه اثر کلی، معادل ۱/۲۴ می‌باشد. همچنین مقدار I_2معادل ۹۱/۹ درصد می‌باشد که نشان دهنده ناهمگونی بالا در مجموعه مطالعات مورد بررسی است. همچنین بیشتر نتایج نشان از افزایش اندازه اثر در نتیجه اعمال افزایش غلظت CO_2 دارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش درجه حرارت در دامنه دمایی ۳۵ - ۱۵ درجه سانتی‌گراد و با افزایش غلظت CO_2، عملکرد گندم افزایش می‌یابد. بعد از حذف داده‌های پرت به‌منظور کاهش ناهمگونی، اندازه اثر کلی برابر با ۰/۵۵ شد، که بیانگر آن است که با افزایش غلظت CO_2، عملکرد گندم افزایش می‌یابد. همچنین مقدار I_2، معادل ۷۹/۶ درصد می‌باشد که بیانگر آن است که در این مجموعه مطالعات، با حذف داده‌های پرت ناهمگونی کاهش می‌یابد. اندازه اثر عملکرد گیاه گندم با انجام آنالیز حساسیت، ۰/۸۱ و مقدار I_2، ۴۵ درصد می‌باشد، که بیانگر آن است که با کاهش ناهمگونی تا ۴۵ درصد در میان داده‌ها، نتایج گویای تأثیر مثبت افزایش غلظت CO_2 روی عملکرد گندم می‌باشد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که مطالعات مربوط به سال-های دورتر به‌دلیل اندازه نمونه کوچک یا خطا در نمونه-گیری دارای اندازه اثرهای کوچکتر هستند و اغلب p-value این مطالعات معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین در بین نتایج مطالعات مورد بررسی سوگیری جانبدارنه و در جهت مثبت مشاهده شد. مطالعاتی که در سال‌های اخیر انجام شده، به‌دلیل اندازه‌ی نمونه‌های بزرگتر و دقت بیشتر در نتایج آن‌ها، دارای نتایج قابل استنادتر می‌باشد. در مجموع انتظار می‌رود زمانی‌که تغییر اقلیم اتفاق می‌افتد همراه با افزایش غلظت CO_2 عملکرد گیاه گندم افزایش یابد. با توجه به این که افزایش غلظت CO_2 می‌تواند سبب افزایش

دما نیز شود، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی و با استفاده از روش فراتحلیل، تأثیر متقابل افزایش غلظت CO_2 و افزایش دما بر عملکرد گیاهان زراعی مهم مورد بررسی قرار گیرند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Trim and fill
[2] Heterogeneity
[3] Box plot
[4] Publication Bias

منابع

Adams, R.M., Rosenzweig, C., Peart, R.M., Ritchie, J.T., McCarl, B.A., Glyer, J.D., Curry, R.B., Jones, J.W., Boote, K.J. and Allen, L.H., 1990. Global climate change and US agriculture. Nature. 345(6272),.219-224.

Amirnejad, H. and Asadpour, K.M., 2017. Effects of climate change on wheat production in Iran. Journal of Agricultural Economics Research. 9, 163-182.

Asseng, S., Jamieson, P.D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J.W. and Howden, S.M., 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO2. Field Crops Research. 85(2-3), 85-102.

Batts, G.R., Morison, J.I.L., Ellis, R.H., Hadley, P. and Wheeler, T.R., 1997. Effects of CO2 and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over four seasons. European Journal of Agronomy. 7, 43-52.

Bax, L. and Moons, K.G., 2011. Beyond publication bias. Journal of Clinical Epidemiology. 64(5), 459-462.

Bencze, S., Veisz, O. and Bedő, Z., 2004. Effects of high atmospheric CO 2 and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. Cereal Research Communications. 32(1), 75-82.

Bencze, S., Bamberger, Z., Janda, T., Balla, K., Varga, B., Bedő, Z. and Veisz, O., 2014. Physiological response of wheat varieties to elevated atmospheric CO 2 and low water supply levels. Photosynthetica. 52, 71-82.

Borenstein, M., Cooper, H., Hedges, L. and Valentine, J., 2009. Effect sizes for continuous data. The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis. 2, 221-235.

Bourgault, M., Dreccer, M.F., James, A.T. and Chapman, S.C., 2013. Genotypic variability in the response to elevated CO2 of wheat lines differing in adaptive traits. Functional Plant Biology. 40, 172-184.

Cammarano, D., Rötter, R.P., Asseng, S., Ewert, F., Wallach, D., Martre, P., Hatfield, J.L., Jones, J.W., Rosenzweig, C., Ruane, A.C. and Boote, K.J., 2016. Uncertainty of wheat water use: Simulated patterns and sensitivity to temperature and CO2. Field Crops Research. 198, 80-92.

Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. and Chhetri, N., 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nature Climate Change. 4(4), 287-291.

Cohen, J., 1988. Statistical Power for The Behavioral Sciences (2nd ed.). Hillsdale, MI: Erlbaum, USA.

Cuculeanu, V., Marica, A. and Simota, C., 1999. Climate change impact on agricultural crops and adaptation options in Romania. Climate Research. 12, 153-160.

Dier, M., Sickora, J., Erbs, M., Weigel, H.J., Zörb, C. and Manderscheid, R., 2018. Decreased wheat grain yield stimulation by free air CO2 enrichment under N deficiency is strongly related to decreased radiation use efficiency enhancement. European Journal of Agronomy. 101, 38-48.

Erice, G., Sanz-Sáez, A., Urdiain, A., Araus, J.L., Irigoyen, J.J. and Aranjuelo, I., 2014. Harvest index combined with impaired N availability constrains the responsiveness of durum wheat to elevated CO2 concentration and terminal water stress. Functional Plant Biology. 41, 1138-1147.

Ewert, F., Rodriguez, D., Jamieson, P., Semenov, M.A., Mitchell, R.A.C., Goudriaan, J., Porter, J.R., Kimball, B.A., Pinter Jr, P.J., Manderscheid, R. and Weigel, H.J., 2002. Effects of elevated CO2 and drought on wheat: testing crop simulation models for different experimental and climatic conditions. Agriculture, Ecosystems & Environment. 93, 249-266.

Fitzgerald, G.J., Tausz, M., O'Leary, G., Mollah, M.R., Tausz-Posch, S., Seneweera, S., Mock, I., Löw, M., Partington, D.L., McNeil, D. and Norton, R.M., 2016. Elevated atmospheric [CO2] can dramatically increase wheat yields in semi-arid environments and buffer against heat waves. Global Change Biology. 22, 2269-2284.

Fróna, D., Szenderák, J. and Harangi-Rákos, M., 2019. The challenge of feeding the world. Sustainability. 11(20), 5816.

Fujimura, S., Shi, P., Iwama, K., Zhang, X., Gopal, J. and Jitsuyama, Y., 2012. Effects of CO2 increase on wheat growth and yield under different atmospheric pressures and their interaction with temperature. Plant Production Science. 15, 118-124.

Ghannoum, O., Caemmerer, S.V., Ziska, L.H. and Conroy, J.P., 2000. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO2 partial pressure: a reassessment. Plant, Cell & Environment. 23(9), 931-942.

Gifford, R.M., 1992. Interaction of carbon dioxide with growth-limiting environmental factors in vegetation productivity: implications for the global carbon cycle. In Advances in Bioclimatology. 1, 24-58.

Glass, G.V., 1976. Primary, secondary, and meta-analysis of research. Educational Researcher. 5, 3-8.

Grashoff, C., Dijkstra, P., Nonhebel, S., Schapendonk, A.H. and Van de Geijn, S.C., 1995. Effects of climate change on productivity of cereals and legumes; model evaluation of observed year-to-year variability of the CO2 response. Global Change Biology. 1, 417-428.

Gurevitch, J., Koricheva, J., Nakagawa, S. and Stewart, G., 2018. Meta-analysis and the science of research synthesis. Nature. 555(7695), 175-182.

Hakala, K., 1998. Growth and yield potential of spring wheat in a simulated changed climate with increased CO2 and higher temperature. European Journal of Agronomy. 9, 41-52.

Kaur, H., Jalota, S.K., Kanwar, R. and Bhushan Vashisht, B., 2012. Climate change impacts on yield, evapotranspiration and nitrogen uptake in irrigated maize (*Zea mays*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system: a simulation analysis. Indian Journal of Agricultural Sciences. 82, 213-219.

Högy, P., Keck, M., Niehaus, K., Franzaring, J. and Fangmeier, A., 2010. Effects of atmospheric CO2 enrichment on biomass, yield and low molecular weight metabolites in wheat grain.

Journal of Cereal Science. 52, 215-220.

IEA, 2012. Available online at www.iea.org/ reports/ world-energy-outlook-2012.

Iglesias, A. and Minguez, M.I., 1997. Modelling crop-climate interactions in Spain: Vulnerability and adaptation of different agricultural systems to climate change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 1, 273-288.

Jauregui, I., Aroca, R., Garnica, M., Zamarreño, Á.M., García-Mina, J.M., Serret, M.D., Parry, M., Irigoyen, J.J. and Aranjuelo, I., 2015. Nitrogen assimilation and transpiration: key processes conditioning responsiveness of wheat to elevated [CO_2] and temperature. Physiologia Plantarum. 155, 338-354.

Karl, T.R., Melillo, J.M., Peterson, T.C. and Hassol, S.J., 2009. Global Climate Change Impacts in the United States. Cambridge University Press, UK.

Kaur, H., Jalota, S.K., Kanwar, R. and Bhushan Vashisht, B., 2012. Climate change impacts on yield, evapotranspiration and nitrogen uptake in irrigated maize (*Zea mays*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system: a simulation analysis. Indian Journal of Agricultural Sciences. 82(3), 213.

Kimball, B.A. and Idso, S.B., 1983. Increasing atmospheric CO2: effects on crop yield, water use and climate. Agricultural Water Management. 7(1-3), 55-72.

Kimball, B.A., Kobayashi, K. and Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO2 enrichment. In Advances in Agronomy. 77, 293-368.

Lal, M., Singh, K.K., Rathore, L.S., Srinivasan, G. and Saseendran, S.A., 1998. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. Agricultural and Forest Meteorology. 89, 101-114.

Li, J., Dong, W., Oenema, O., Chen, T., Hu, C., Yuan, H. and Zhao, L., 2019. Irrigation reduces the negative effect of global warming on winter wheat yield and greenhouse gas intensity. Science of the Total Environment. 646, 290-299.

Ludwig, F. and Asseng, S., 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. Agricultural Systems. 90, 159-179.

Manderscheid, R. and Weigel, H.J., 1997. Photosynthetic and growth responses of old and modern spring wheat cultivars to atmospheric CO_2 enrichment. Agriculture, Ecosystems & Environment. 64, 65-73.

Manderscheid, R., Burkart, S., Bramm, A. and Weigel, H.J., 2003. Effect of CO_2 enrichment on growth and daily radiation use efficiency of wheat in relation to temperature and growth stage. European Journal of Agronomy. 19, 411-425.

Mearns, L.O., Rosenzweig, C. and Goldberg, R., 1996. The effect of changes in daily and interannual climatic variability on CERES-Wheat: a sensitivity study. Climatic Change. 32, 257-292.

Mitchell, R.A.C., Lawlor, D.W., Mitchell, V.J., Gibbard, C.L., White, E.M. and Porter, J.R., 1995. Effects of elevated CO_2 concentration and increased temperature on winter wheat: test of ARCWHEAT1 simulation model. Plant, Cell & Environment. 18, 736-748.

Mitchell, R.A.C., Mitchell, V.J., Driscoll, S.P., Franklin, J. and Lawlor, D.W., 1993. Effects of increased CO2 concentration and temperature on growth and yield of winter wheat at two levels of

nitrogen application. Plant, Cell & Environment. 16, 521-529.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. and Prisma Group, 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. PLoS Med. 6, e1000097.

Mulholland, B.J., Craigon, J., Black, C.R., Colls, J.J., Atherton, J. and Landon, G., 1997. Effects of elevated carbon dioxide and ozone on the growth and yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Experimental Botany. 48, 113-122.

Mulholland, B.J., Craigon, J., Black, C.R., Colls, J.J., Atherton, J. and Landon, G., 1998. Effects of elevated CO2 and O3 on the rate and duration of grain growth and harvest index in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Global Change Biology. 4, 627-635.

Nissen, S.B., Magidson, T., Gross, K. and Bergstrom, C.T., 2016. Publication bias and the canonization of false facts. Elife. 5, e21451.

Olesen, J.E., Jensen, T. and Petersen, J., 2000. Sensitivity of field-scale winter wheat production in Denmark to climate variability and climate change. Climate Research. 15, 221-238.

Pandey, V., Patel, H.R. and Karande, B.I., 2009. Impact analysis of climate change on different crops in Gujarat, India. ISPRS Archives. 38(8), pW3.

Rogers, G.S., Gras, P.W., Batey, I.L., Milham, P.J., Payne, L. and Conroy, J.P., 1998. The influence of atmospheric CO2 concentration on the protein, starch and mixing properties of wheat flour. Functional Plant Biology. 25, 387-393.

Rosegrant, M.W., Ewing, M., Yohe, G., Burton, I., Saleemul, H. and Valmonte-Santos, R., 2008. Climate change and agriculture: Threats and opportunities. Eschborn, German technical Cooperation (GTZ), Germany.

Rudorff, B.F., Mulchi, C.L., Lee, E.H., Rowland, R. and Pausch, R., 1996. Effects of enhanced O3 and CO2 enrichment on plant characteristics in wheat and corn. Environmental Pollution. 94, 53-60.

Ruiz-Ramos, M., Ferrise, R., Rodríguez, A., Lorite, I.J., Bindi, M., Carter, T.R., Fronzek, S., Palosuo, T., Pirttioja, N., Baranowski, P. and Buis, S., 2018. Adaptation response surfaces for managing wheat under perturbed climate and CO2 in a Mediterranean environment. Agricultural Systems 159, 260-274.

Sæbø, A. and Mortensen, L.M., 1996. Growth, morphology and yield of wheat, barley and oats grown at elevated atmospheric CO2 concentration in a cool, maritime climate. Agriculture, Ecosystems & Environment. 57, 9-15.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F. and Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science. 28, 526-531.

Shi, L. and Lin, L., 2019. The trim-and-fill method for publication bias: practical guidelines and recommendations based on a large database of meta-analyses. Medicine. 98(23), e15987.

Sinclair, T.R. and No'am G, S., 1995. Global environments change and simulated forage quality of wheat I. Nonstressed conditions. Field Crops Research. 40, 19-27.

Tausz-Posch, S., Dempsey, R.W., Seneweera, S., Norton, R.M., Fitzgerald, G. and Tausz, M., 2015. Does a freely tillering wheat cultivar benefit more from elevated CO2 than a restricted tillering cultivar in a water-limited environment?

European Journal of Agronomy. 64, 21-28.

Tausz-Posch, S., Seneweera, S., Norton, R.M., Fitzgerald, G.J. and Tausz, M., 2012. Can a wheat cultivar with high transpiration efficiency maintain its yield advantage over a near-isogenic cultivar under elevated CO2? Field Crops Research. 133, 160-166.

Tharyan, P., 1998. The relevance to meta-analysis, systematic reviews and the cochrane collaboration to clinical psychiatry. Indian Journal of Psychiatry. 40(2), 135.

Trnka, M., Dubrovský, M., Semerádová, D. and Žalud, Z., 2004. Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. Theoretical and applied climatology. 77, 229-249.

Tuba, Z., Szente, K. and Koch, J., 1994. Response of photosynthesis, stomatal conductance, water use efficiency and production to long-term elevated CO2 in winter wheat. Journal of Plant Physiology. 144, 661-668.

Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Goldberg, R.A., Jagtap, S. and Jones, J.W., 2002. Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: wheat, potato, maize, and citrus. Climate Research. 20, 259-270.

Tubiello, F.N., Donatelli, M., Rosenzweig, C. and Stockle, C.O., 2000. Effects of climate change and elevated CO2 on cropping systems: model predictions at two Italian locations. European Journal of Agronomy. 13, 179-189.

U.S. Census Bureau, 2012. Available online at: https://www.census.gov/library/publications/2011/compendia.

Van Oijen, M. and Ewert, F., 1999. The effects of climatic variation in Europe on the yield response of spring wheat cv. Minaret to elevated CO2 and O3: an analysis of open-top chamber experiments by means of two crop growth simulation models. European Journal of Agronomy. 10, 249-264.

Verrillo, F., Badeck, F.W., Terzi, V., Rizza, F., Bernardo, L., Di Maro, A., Fares, C., Zaldei, A., Miglietta, F., Moschella, A. and Bracale, M., 2017. Elevated field atmospheric CO2 concentrations affect the characteristics of winter wheat (cv. Bologna) grains. Crop and Pasture Science. 68, 713-725.

Wang, H., He, Y., Qian, B., McConkey, B., Cutforth, H., McCaig, T., McLeod, G., Zentner, R., DePauw, R., Lemke, R. and Brandt, K., 2012. Climate change and biofuel wheat: a case study of southern Saskatchewan. Canadian journal of plant science. 92, 421-425.

Weigel, H.J. and Manderscheid, R., 2012. Crop growth responses to free air CO2 enrichment and nitrogen fertilization: Rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. European Journal of Agronomy. 43, 97-107.

Weigel, H.J., Manderscheid, R., Jäger, H.J. and Mejer, G.J., 1994. Effects of season-long CO_2 enrichment on cereals. I. Growth performance and yield. Agriculture, Ecosystems & Environment. 48, 231-240.

Wheeler, T.R., Batts, G.R., Ellis, R.H., Hadley, P. and Morison, J.I.L., 1996. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO 2 and temperature. Journal of Agricultural Science. 127, 37-48.

Wolfe, D.W., Gifford, R.M., Hilbert, D. and Luo, Y., 1998. Integration of photosynthetic acclimation to CO2 at the whole-plant level. Global Change Biology. 4, 879-893.

Zemankovics, M.H. and Bacsi, Z.S., 1995. Wheat and maize production in hungary under doubled atmospheric CO_2 concentration. In Studies in Environmental Science. 65, 741-744.

Seydaei, A., Hoseini, S. and Yazdanbakhsh, B., 2018. Assessment of environmental sustainability of Esfahan city emphasizing on air pollution. Geography and Environmental Planning. 29(1), 113-126. (In Persian with English abstract).

Environmental Sciences Vol.18 / No.4 / Winter 2021

87-108

Validation of the effect of increasing CO_2 concentration on the yield of wheat using meta-analysis method

Bita Mahdavi Amiri and Jafar Kambouzia*

Department of Agroecology, Environmental Sciences Inestitute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Accepted: 2020.11.17

Mahdavi Amiri, B. and Kambouzia, J., 2021. Validation of the effect of increasing CO_2 concentration on the yield of wheat using meta-analysis method. Environmental Sciences. 18(4):87-108.

Introduction: Concerns about the potential effects of climate change on agricultural products have prompted a significant amount of research in the past decade. Cereals are the most important food supply for the world's population. Among various cereals, wheat plays the most important role. In our country, wheat is the most important crop in the country and has a significant role in feeding people. Due to the importance of this plant in providing food security, this study was conducted to investigate the increase in the concentration of carbon dioxide (CO_2) on the yield of wheat. For this purpose, the meta-analysis method was used to quantitatively compare the effects of CO_2 on wheat crop yield.

Material and methods: The purpose of a meta-analysis is to obtain more information than available information. In order to obtain the necessary data for the present study, the printed sources review method was used. Seventy-five articles were extracted on the effects of increasing CO_2 concentration on wheat yield, then duplicate articles and articles that lacked the desired data were removed. Among the remaining articles, CO_2 information, sample size, average, and standard deviation were extracted. In the next step, these values were inserted into Excel software, and finally, using Stata V.16 software, the necessary forest plot and funnel plot were drawn. To investigate the publication bias among the studies, the trim and fill method and drawing its graphs were used.

Results and discussion: The results of the forest plot showed that after deleting the outlier data, the two T2 (15-25) and T3 (25-35) groups had a greater final effect size (about 1.6), which indicates that with increasing temperature up to 35 °C, wheat plant yield increased. Also, group T0, which was not mentioned in the articles of this group, had the lowest effect size (0.38). So, it can be inferred that the yield of the wheat plant will increase with an increasing temperature between 15 to 35 °C and with increasing CO_2 concentration in this

* Corresponding Author.*Email Address*: J-Kambouzia@sbu.ac.ir
http://doi.org.10.52547/envs.18.4.87

temperature range. Examination of the funnel plot showed that most studies had accumulated at the top of the diagram. These studies had a smaller standard error, larger sample size, and higher accuracy. Publication bias was also observed in a positive direction. After drawing the funnel plot, the trim and fill method was used to estimate the potential missing studies due to the biased dissemination in the funnel plot and the adjustment of the estimate of their overall effect.

Conclusion: The results of this study showed that the studies conducted in recent years have more reliable results (due to the larger sample size and greater accuracy in the results of these studies). Also, considering that increasing the concentration of CO_2 can also cause an increase in temperature, it is suggested that the interaction and simultaneous effects of the increasing concentration of CO_2 and temperature on important crops should be examined in future studies using the meta-analysis method.

Keywords: Climate change, Trim and fill, Funnel plot, Box plot.