Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 3 (51)

Received:
2023-09-20

Accepted:
2023-11-01

Pages: 99-110

Investigating Performance, Water Productivity, Growth Degree Day Index (GDD) and Evaluating Yield Response Factor of Safflower Plant Under Different Irrigation Treatments

Arash Tafteh[1*], Saloumeh Sepehri Sadeghiyan[2], Aslan Egdernejad[3], Ali Gohari[4] and Parisa Shahinrokhsar[5]

1) Assistant professor of Department of on farm water manament, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2) Assistant professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3) Assistant Professor, Department of Water Sciences Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
4) Researcher of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
5) Assistant Professor, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht,Iran.
*Corresponding author email: Arash_tafteh@yahoo.com

Abstract:

Background and Aim: Because safflower contains more than 90% of unsaturated fatty acids, it can play an important role in expanding the area under cultivation of oilseeds and providing oilseeds in the country. Considering the lack of water and the need to investigate the behavior of the safflower plant in low irrigation conditions, it is necessary to have a proper estimate of its performance under water stress conditions. This oilseed plant needs areas with little winter and spring rainfall during the flowering period and is drought tolerant and has long roots with a high ability to absorb water from deeper soil profiles.

Method: In order to estimate the yield production function and yield components of safflower plant variety Sina under water stress conditions, an experiment was carried out in a research farm located in Kermanshah province. This research was conducted using the data collected in two crop years in a research farm in Kermanshah. The yield response factor was implemented at three levels of 70, 60 and 30% of water requirement based on soil moisture balance in three iterations. Based on the data of the first year, the two production functions of Raes and Tafteh, yield response factors of the plant were determined and evaluated using the data of the second year. To calculate the growth degree day (GDD), two methods of direct calculation and modified average were used. The maximum possible temperature for growth is about 30 degrees and the minimum temperature for growth is 0 degrees as the recommended and acceptable low limit (no trend). In this research, the maximum value of 30 degrees and the base temperature value of 4 degrees were taken from the water requirment system database(niwr.ir). Then different periods of phenology were calibrated with this index. Also, the relationship between GDD index and transpiration evaporation coefficients and yield response factors and irrigation requirement were investigated.

Results: The findings showed that the yield response factors of safflower plant to water stress varies between 0.5 and 1.2 in different growth periods and the highest sensitivity is in the flowering period and the middle period of this plant. Also, the results of the investigation of the two production functions showed that the values of the statistical indicators for both functions are the normal error value of 5% and the efficiency value of both functions is about 97%. The results show that the lowest average evapotranspiration in different treatments was related to the 30% water requirement treatment with 189.8 mm and the highest was related to the 100% water requirement treatment with 632.7 mm.

Conclusion: Based on the obtained results, the Sina safflower plant is most sensitive to dehydration in the middle and flowering stages, and the yield response factors reaches its maximum in this stage (about 1.2) and water stress is not recommended at this stage. On the other hand, Rees and Tafteh function with the presented yield response factors can estimate the results with acceptable accuracy in water stress investigation based on the presented coefficients. On the other hand, in the absence of plant data and complete meteorological data, only by using the GDD index can evaluate the values of plant coefficient and plant sensitivity to water stress and plant irrigation requirement with appropriate accuracy.

Key words: Moisture balance, Sina cultivar, Yield response factors Ky, Water requirement

10.30495/WSRCJ.2023.75366.11405

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد، بهره‌وری آب و شاخص درجه ـ روز درجه رشد (GDD) و ارزیابی ضریب حساسیت گیاه گلرنگ تحت تیمارهای مختلف آبی

آرش تافته*[1]، سالومه سپهری صادقیان[2] ،اصلان اگدرنژاد[3]، عبدزاد گوهری[4] و پریسا شاهین رخسار[5]

۱)استادیار بخش مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲)استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳)استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۴)محقق بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۵)استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
*ایمیل نویسنده مسئول: arash_tafteh@yahoo.com

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ۳ (۵۱)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۸/۱۰

صفحات: ۱۱۰-۹۹

چکیده:

زمینه و هدف: گیاه گلرنگ به دلیل دارا بودن بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع می‌تواند نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان روغنی و تأمین دانه‌های روغنی در کشور داشته باشد. با توجه به کمبود آب و لزوم بررسی رفتار گیاه گلرنگ درشرایط کم‌آبیاری‌ها لازم است تا برآورد مناسبی از عملکرد آن در شرایط تنش آبی وجود داشته باشد. این گیاه دانه روغنی به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک در طول دوره گلدهی نیاز دارد و متحمل به خشکی به شمار می‌رود و دارای ریشه‌های طویل با توانایی بالا در جذب آب از پروفیل‌های عمیق‌تر خاک می‌باشد.

روش پژوهش: به‌منظور تخمین تابع تولید عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ رقم سینا در شرایط تنش آبی آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی واقع در استان کرمانشاه اجرا شد. این پژوهش با استفاده از داده‌های برداشت شده در دو سال زراعی در یک مزرعه تحقیقاتی در کرمانشاه انجام شد. عامل تنش‌آبی در سه سطح ۷۰ ، ۶۰ و ۳۰ درصد نیاز آبی بر اساس بیلان رطوبتی خاک در سه تکرار اجرا گردید. بر اساس داده‌های سال اول دو تابع تولید ریس و تافته ضرایب حساسیت گیاه تعیین شد و با استفاده از داده‌های سال دوم مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه روز درجه رشد (GDD) از دو روش محاسبه مستقیم و میانگین اصلاح شده استفاده شد. مقدار بیشینه دمای ممکن برای رشد حدود ۳۰ درجه و دمای حداقل رشد صفر درجه به‌عنوان حد پایین قابل توصیه و قابل‌قبول (بدون ترند) گزارش‌شده است که در این تحقیق مقدار بیشینه ۳۰ و مقدار دمای پایه ۴ درجه از بانک اطلاعات سامانه نیاز آب‌گرفته شد. سپس دوره‌های مختلف فنولوژی با این شاخص واسنجی شد. همچنین رابطه شاخص GDD با ضرایب تبخیر-تعرق و ضرایب حساسیت و نیاز آبیاری بررسی شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که ضریب حساسیت گیاه گلرنگ به تنش آبی بین ۰/۵ تا ۱/۲ در دوره‌های مختلف رشد متغیر است و بیشترین حساسیت در دوره گلدهی و دوره میانی این گیاه می‌باشد. همچنین نتایج بررسی دو تابع تولید نشان داد مقادیر شاخص‌های آماری در مورد هر دو تابع مقدار خطای نرمال ۵ درصد و مقدار کارایی هر دو تابع حدود ۹۷ درصد می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده آن است که کمترین تبخیر-تعرق به‌طور متوسط در تیمارهای مختلف مربوط به تیمار ۳۰ درصد نیاز آبی با ۱۸۹/۸ میلی‌متر و بیشترین مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۶۳۲/۷ میلی‌متر بود.

نتایج: بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، گیاه گلرنگ رقم سینا در مراحل میانی و گلدهی، بیشترین حساسیت به کم‌آبی را دارد و ضریب حساسیت در این مرحله به ماکزیمم خود می رسد (حدود ۱/۲) و تنش‌آبی در این مرحله به‌هیچ‌وجه توصیه نمی‌شود. از طرفی، تابع ریس و تافته با ضرایب حساسیت ارائه‌شده می‌توانند در بررسی تنش‌های آبی، نتایج را به‌خوبی دو با دقت قابل قبول بر اساس ضرایب ارائه شده برآورد نمایند. از طرف دیگر در صورت عدم وجود داده گیاهی و داده‌های هواشناسی کامل تنها با استفاده از شاخص GDD می‌توان مقادیر ضریب گیاهی و ضریب حساسیت گیاه به تنش آبی و نیاز آبیاری گیاه را با دقت مناسب برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی: بیلان رطوبتی، رقم سینا، ضریب حساسیت Ky، نیاز آبی

10.30495/WSRCJ.2023.75366.11405

مقدمه

گلرنگ[۱] یکی از گیاهان تیره آستراسه[۲]، توانایی بسیار زیادی برای رشد در شرایط مختلف دارد، ولی سطح کشت آن در مناطق مختلف دنیا به دلیل نبود اطلاعات در زمینه مدیریت محصول، محدودشده است. ۲۵ گونه مختلف از این گیاه از اسپانیا تا شمال آفریقا و غرب آسیا تا هندوستان پراکنده‌شده‌اند. وجود تیپ‌های مختلف وحشی این گیاه روغنی که در سراسر کشور پراکنده‌شده است، نشان از سازگاری بالای آن با آب‌وهوای کشور دارد. این گیاه به دلیل دارا بودن بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع، خصوصاً اسید لینولئیک و اسید اولئیک می‌تواند نقش مهمی در گسترش سطح زیر کشت گیاهان روغنی و تأمین دانه-های روغنی کشور داشته باشد (Tadayon and mohtashami,2020). این گیاه دانه روغنی به مناطقی با بارندگی زمستانه و بهاره اندک در طول دوره گلدهی نیاز دارد و متحمل به خشکی به شمار می‌رود و دارای ریشه‌های طویل با توانایی بالا در جذب آب از پروفیل‌های عمیق‌تر خاک می‌باشد (Weinberg et al., 2005).

آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مهم‌ترین عامل محدودکننده برای توسعه کشاورزی است. ازاین‌رو، با استفاده از شیوه‌هایی که بتوان بدون کاهش در تولید محصول، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی را کاهش داد، لازم خواهد بود (Jorooni et al., 2017). تنش خشکی همانند سایر تنش‌های محیطی رشد و عملکرد گیاهان را محدود می‌کند و گیاهان زمانی با کمبود آب مواجه می‌شوند که سرعت تعرق بیش از سرعت جذب آب باشد. در تحقیقی فرض و همکاران (۲۰۲۱)[۳]، واکنش گلرنگ به تنش - آبی را بررسی نمودند و گزارش کردند که در محدودیت‌های آبی متوسط و شدید میانگین محصول دانه کاهش یافت و محلول-پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در همه تیمارهای آبیاری موجب بهبود صفات زراعی گردید. جوادی و موسوی (۲۰۲۱)[۴] در آزمایشی دورهای آبیاری در مرحله زایشی ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را در سه رقم گلرنگ گلدشت، پدیده و KWS بررسی نمودند و گزارش کردند که افزایش دور آبیاری از ۷ به ۱۴روز تفاوت معنی‌داری در صفات موردمطالعه ایجاد نکرد، اما افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز باعث کاهش عملکرد دانه (۷/۷۸ درصد)، عملکرد زیستی (۱۱/۴۱ درصد) و عملکرد روغن (۱۹/۲۵ درصد) شد و تمامی صفات موردمطالعه به‌جز تعداد دانه در غوزه، تحت تأثیر رقم قرار گرفتند و بیشترین درصد روغن به‌طور مشترک متعلق به ارقام KWS (33) و پدیده بود و ارقام گلدشت و KWS به‌طور مشترک بیشترین عملکرد دانه به ترتیب ۱۸۶۸ و ۱۷۶۸ کیلوگرم در هکتار و عملکرد روغن به ترتیب ۵۲۱/۲ و ۵۸۳/۴ کیلوگرم در هکتار را داشتند. شیر اسماعیلی و همکاران(۲۰۱۷)[۵] در آزمایشی سه تیمار آبیاری شاهد، قطع آبیاری در شروع گلدهی و قطع آبیاری از دوره پر شدن دانه را در نه رقم گلرنگ بررسی نمودند و گزارش کردند که در بین ارقام، صفه و گلدشت دارای بالاترین عملکرد دانه بودند و در تیمار قطع آبیاری در شروع گلدهی بین ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. فلاح و همکاران (۲۰۱۵)[۶]در پژوهشی، تعیین تحمل به تنش آبی و قطع آبیاری در مراحل متفاوت رشد مانند تکمه‌زنی، گل‌دهی، دانه‌بندی، تکمه‌زنی+دانه‌بندی و مرحله تکمه‌زنی+گلدهی را در بین ارقام ایرانی گلرنگ، ارومیه ۳۱۴۷، زرقان ۲۷۹، آذربایجان ۳۱۴۸ و ورامین ۲۹۵ بررسی نمودند و گزارش کردند که تنش آبی، بسته به مرحله اعمال آن، سبب کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گردید. رقم آذربایجان ۳۴۱۸ دارای عملکرد بالاتر و رقم ورامین ۲۷۹ دارای تحمل بیشتری به خشکی بود. بیشترین تأثیر منفی تنش آبی بر عملکرد دانه مربوط به قطع آبیاری در مراحل تکمه‌بندی+گلدهی با ۲۴/۶ درصد و تکمه‌بندی+دانه‌بندی با ۲۳/۱ درصد و کمترین آن در مرحله دانه‌بندی با ۱۹/۷ درصد بود. دانشور و خاجوانی (۲۰۱۴)[۷]در مطالعه‌ای، اثر کودهای زیستی را بر پتانسیل عملکرد و خصوصیات زراعی ارقام گلرنگ در رژیم‌های مختلف آبیاری شامل دور ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بررسی کردند نتایج نشان داد رژیم‌های آبیاری تأثیر معنی‌داری بر همه صفات به‌جز شاخص برداشت داشت و تأخیر در آبیاری از پنج روز به ۱۵روز، عملکرد دانه را به‌اندازه ۳۳ درصد کاهش داد. در پژوهشی یاری و همکاران (۲۰۱۶)[۸] تأثیر تنش‌آبی در سه سطح، آبیاری معمولی (بدون تنش آبی)، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدگی (گلدهی) و قطع آبیاری از مرحله شروع دانه‌بندی تا رسیدگی (دانه‌بندی) را بر رشد و عملکرد دانه گیاه گلرنگ بهاره را در شش رقم گلرنگ شامل PI، محلی عجب‌شیر، Mec11، فرامان، محلی زرقان ۶ و سینا بررسی کردند و گزارش نمودند که تنش آبی در مرحله گلدهی و دانه‌بندی به ترتیب موجب کاهش ۱۱/۰۲ و ۱۷/۲۲ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شرایط بدون تنش آبی گردید. رقم‌های سینا و محلی عجب‌شیر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط نرمال، تنش آبی در گلدهی و تنش آبی در دانه‌بندی بودند. بیاواس و همکاران (۲۰۱۱)[۹] با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ۲۶ رقم، لاین و جمعیت گلرنگ در دو سال در شرایط نیمه‌خشک مشاهده کردند که ارقام هاما، سوریا و هارینان و لاین S-541-2 دارای بیشترین عملکرد دانه و لاین‌های ۰۱۱۱۶۱ و S-541-2 دارای بیشترین محتوی روغن بودند (Beyyavas et al.,۲۰۱۱). در پژوهشی استابگلو و همکاران(۲۰۰۹)[۱۰] اثر تنش خشکی را در مراحل مختلف رشد گلرنگ بررسی نمود و گزارش کرد که تنش‌آبی در مرحله غوزه‌دهی به‌طورجدی عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد و این مرحله حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی می‌باشد (Isanbullouglu, 2009). در مطالعه دیگری محققین تأثیر

رژیم‌های مختلف آبیاری را بر روی ارقام گلرنگ بررسی نمودند و گزارش کردند که ارتفاع بوته، مقدار ماده خشک، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی کاهش‌یافته و این میزان کاهش در بین ارقام مختلف با یکدیگر متفاوت است (Salem et al.,2014). رژیم‌های آبیاری مناسب در گلرنگ در مراحل رشد سریع ساقه، گلدهی و دانه‌بندی موجب می‌شود که عملکرد دانه افزایش چشمگیری داشته باشد و حساس‌ترین مرحله نیاز آبی درگلرنگ، مرحله گلدهی و دانه‌بندی است. تابع تولید محصول از آب، یک رابطه ریاضی بین عملکرد محصول و نهاده آب در فرایند تولید است. به‌بیان‌دیگر، این توابع میزان تبدیل نهاده به‌ستاده آب را مشخص می‌کنند (Jorooni et al., 2017).

با توجه به جمیع موارد خلأ موجود اطلاعاتی در مورد تعیین ضریب حساسیت گیاه گلرنگ به‌ویژه ارقامی که درحال‌توسعه هستند در اولویت کاری است. لذا لازم است مطالعات در زمینه ضریب حساسیت در مراحل مختلف رشد و بررسی عملکرد آن در توابع تولید مختلف بررسی‌های لازم انجام شود(Egdernezhad et al.,2019).همچنین در زمینه روز درجه رشد و دوره‌های فنولوژی آن در اقلیم‌های مختلف اطلاعات مکفی وجود ندارد. لذا نیاز است در مورد این گیاه تحقیقات گسترده‌تری انجام شود تا خلأهای موجود در مورد این در این راستا هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد، کارایی مصرف آب و تخمین ضرایب حساسیت گیاه در توابع تولید گیاه گلرنگ تحت تنش‌های مختلف آبی در منطقه موردمطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تخمین تابع تولید عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ رقم سینا در شرایط تنش آبی آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی واقع در استان کرمانشاه اجرا شد. این رقم حاصل یک برنامه به نژادی ۷ ساله بوده که با نام PI-537598 از بانک جهانی گلرنگ دریافت و در استان‌های ایلام، کرمانشاه، لرستان، خراسان شمالی، کردستان، زنجان، اردبیل و در شهرهای مراغه و گچساران موردبررسی قرارگرفته است(Shir esmaeili et al., 2017). رقم سینا زودرس، مقاوم به تنش خشکی، خاردار، دارای گل‌های زرد-نارنجی می‌باشد. عمق کاشت مناسب این رقم ۲ تا ۳ سانتی‌متر است. در این مطالعه طرح به‌صورت بلوک‌های تصادفی در ۳ سطح ۷۰ ، ۶۰، ۳۰ درصد نیاز آب آبیاری بر اساس بیلان رطوبتی خاک با سه تکرار اجرا گردید. برای این منظور بیلان آبی در تیمار شاهد محاسبه و بیشینه نیاز آبی تعیین شد و بر اساس ۷۰، ۶۰ و ۳۰ درصد آن سایر تیمارها آبیاری شدند. تعیین رطوبت در تیمار شاهد با استفاده از دستگاه TDR تا عمق ۹۰ سانتی‌متری انجام شد. حجم آب آبیاری نیز با کنتور متناسب با رطوبت اندازه‌گیری شده و مقدار تنش آبی مدنظر به هر تیمار داده‌شده است. این پژوهش با استفاده از داده‌های برداشت‌شده در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹ -۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی در کرمانشاه انجام شد. این مزرعه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا قرارگرفته است. گیاه گلرنگ در تاریخ ۲۲ اسفند و به مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار کاشته شد. کشت به‌صورت خطی انجام‌شده و برای هر یک از تیمارها ۵ خط کاشت به فاصله ۳۵ سانتیمتر و به طول ۱۵ متر در نظر گرفته شد. در مرحله ۳ تا ۴ برگی خطوط کشت تنک شده و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر تنظیم شد، به‌طوری‌که تراکم ۲۰ بوته در مترمربع حاصل شد. در جدول (۱) نیز برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارائه‌شده است. کود مصرفی بر اساس آزمایش خاک و توصیه کارشناسان خاک و آب به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد برای دوره رشد گیاه در نظر گرفته شد. داشت شامل آبیاری، وجین و مبارزه با علف‌های هرز و تنک کردن بوته‌ها و همچنین یادداشت‌برداری صفات مورفولوژیکی برای همه تیمارها به‌طور یکسان و هم‌زمان در این مرحله انجام گردید. بذور در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شدند. کلیه آبیاری‌ها بعد از کاشت تا سبز شدن گیاه، در تمام تیمارها یکسان و پس‌ازآن آبیاری مطابق تیمارهای ذکرشده اعمال گردید (Ghamarnia and Sepehri, 2010). مشخصات کیفیت آب منطقه موردمطالعه نیز در جدول (۲) ارائه‌شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

EC	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب	کربن آلی	Mn	Fe	Zn	شن	سیلت	رس	بافت خاک
دسی زیمنس بر متر	میلی اکی والان بر لیتر		درصد	میلی اکی والان بر لیتر			درصد			
۱/۲	۲۶	۴۴۰	۱/۳۸	۷/۸	۱۱/۹	۱/۳۶	۳/۷	۴۲/۳	۴۵	سیلتی رس

جدول ۲.خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب

EC	TDS	CO3	HCO3	CL	SO4	Mg+Ca	Na	سدیم محلول (درصد)
(میکرو موس بر سانتی‌متر)	(میلی‌گرم بر لیتر)	میلی اکی والان بر لیتر						
۱۰۰۰	۶۴۰	۰	۶/۱۵	۱/۹	۱/۱۸	۸/۱۵	۱/۱	۱۱/۷

تابع تولید محصول نسبت به آب مقدار نسبی محصول را به ازای مقدار نسبی تبخیر تعرق گیاه‌نشان می‌دهد. اگر فرض شود مقدار محصول در شرایط بدون تنش آبی Y_m و مجموع تبخیر-تعرق گیاه در طی رشد ET_m باشد، با قرار گرفتن گیاه در برابر تنش‌آبی مقدار محصول کاهش‌یافته و به Y می‌رسد. صدمات وارده در اثر تنش آبی در برخی مراحل رشد بیش از مراحل دیگر است. بنابراین در توابع تولید ضریبی به‌عنوان ضریب حساسیت گیاه به کم‌آبی در مراحل مختلف رشد را در نظر می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین معادلات فعلی، تابع ریس که یکی از توابع بسیار پرکاربرد در مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح هست (Raes et al.,2006).

$$\frac{y_a}{y_m}=\prod_{j=1}^{n}\left[1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_{a.j}}{ET_{m.j}}\right)\right]^{\frac{\Delta t_j}{L_i}} \qquad (۱)$$

y_a و y_m به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، k_{yi} ضریب واکنش عملکرد محصول به آب، ETa,j و $ET_{a,j}$ به ترتیب تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر تعرق پتانسیل در زمان J، Δt_j بازه زمانی موردنظر (روز)، n تعداد مراحل دوره رشد و L_i طول کل دوره رشد می‌باشد. از دیگر توابع مطرح در این زمینه و مورداستفاده در این تحقیق تابع تافته و همکاران (۲۰۱۳) که بر اساس تعریف جدید برای توان رابطه (۱) به‌صورت رابطه زیر استفاده شد (Tafteh et al., 2013).

$$\frac{y_a}{y_m}=\prod_{j=1}^{n}\left[1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_{a.j}}{ET_{m.j}}\right)\right]^{\frac{ky_i}{\sum_{i=1}^{n}ky_i}} \qquad (۲)$$

در این پژوهش با استفاده از داده‌های سال اول مقادیر ضریب حساسیت گلرنگ رقم سینا واسنجی شد. پس از تعیین ضریب حساسیت گلرنگ مقادیر عملکرد گلرنگ توسط دو تابع تولید ریس و همکاران (۲۰۰۶)[11] و تافته و همکاران (۲۰۱۳)[12] برای سال دوم تخمین زده شد و با نتایج مزرعه‌ای مقایسه و اعتبارسنجی ضریب حساسیت گلرنگ صورت گرفت. در فرآیند ارزیابی از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) و میانگین خطای اریب (MBE) به کمترین مقدار و مقادیر آماره‌های کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) به بیشترین مقدار ممکن برسند(روابط ۳ تا ۸)(احمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}} \qquad (۳)$$

$$NRMSE=\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \qquad (۴)$$

$$MBE=\frac{\sum_{i}^{n}\left(P_i-O_i\right)}{n} \qquad (۵)$$

$$EF=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2} \qquad (۶)$$

$$d=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i|+|O_i|)^2} \qquad (۷)$$

$$R^2=\frac{\left(\sum(P_i-\overline{P})(O_i-\overline{O})\right)^2}{\sum(P_i-\overline{P})^2\sum(O_i-\overline{O})^2} \qquad (۸)$$

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی‌شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت و هر چه به صفر نزدیک‌تر، قابل‌قبول‌تر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده دقت عالی مدل است. هم‌چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی مقدار عامل موردنظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیان‌گر این است که مدل در برآورد عامل موردنظر عدد کوچک‌تری به‌دست‌آمده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

برای محاسبه روز درجه رشد (GDD) از دو روش پیشنهادی ژو و وانگ (۲۰۱۸)[13] استفاده شد.

روش اول:

معادلات حاکم بر این روش به شرح ذیل می‌باشد.

$$GDD=\sum DTT \qquad (۹)$$

که DDT در آن به شرح ذیل محاسبه می‌گردد:

$$DT=\begin{cases}0 & Tave<Tb\\ Tave-Tb & Tb<Tave<Tu\\ Tu-Tb & Tu<Tave\end{cases} \qquad (۱۰)$$

$Tave$ =(Tmax+Tmin)/2

Dکه در آن $Tave$ میانگین دمای روزانه بوده و Tb دمای پایه رشد گیاه و Tu بیشینه دمای ممکن برای رشد گیاه می‌باشد. با توجه به تحقیقات گریگوریوا و همکاران (۲۰۱۰)[۱۴] مقدار بیشینه دمای ممکن برای رشد حدود ۳۰ درجه و دمای حداقل رشد صفر درجه به‌عنوان حد پایین قابل توصیه و قابل‌قبول (بدون ترند) گزارش‌شده است که در این تحقیق مقدار بیشینه ۳۰ و مقدار دمای پایه برای هر گیاه از بانک اطلاعات سامانه نیاز آب‌گرفته شد.

روش دوم:

معادلات حاکم بر این روش به شرح ذیل می‌باشد.

که DDT در آن به شرح ذیل محاسبه می‌گردد:

$$DDT = \begin{cases} 0 & Tave < Tb \\ Tave' - Tb & Tb < Tave < Tu \\ Tu - Tb & Tu < Tave \end{cases} \quad (۱۱)$$

Tm=min(Tmax, Tu)

Tn=Max(Tmin, Tb)

$Tave'$=(Tm+Tn)/2

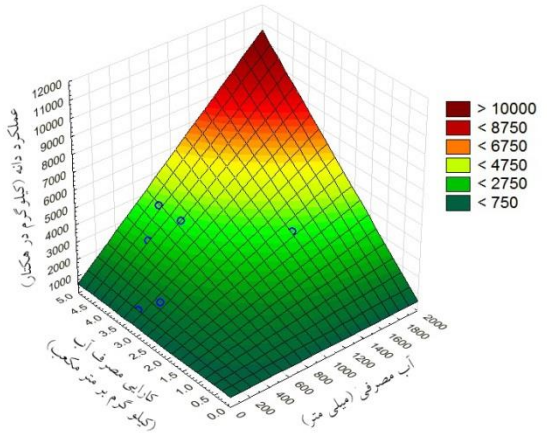
که در آن $Tave'$ میانگین دمای روزانه اصلاح‌شده بوده و Tb دمای پایه رشد گیاه و Tu بیشینه دمای ممکن Tm برای کنترل دما است که از حد بیشینه دمای در محاسبات فراتر نرود و Tn برای کنترل دما است که از حد پایه در محاسبات پایین‌تر نشود که با شرایط رشد گیاه متناسب‌تر می‌باشد. با توجه به تحقیقات گریگوریوا و همکاران (۲۰۱۰)[۱۵] مقدار بیشینه دمای ممکن برای رشد حدود ۳۰ درجه و دمای حداقل رشد صفر درجه به‌عنوان حد پایین قابل توصیه و قابل‌قبول (بدون ترند) گزارش‌شده است که در این تحقیق مقدار بیشینه ۳۰ و مقدار دمای پایه ۴ درجه از بانک اطلاعات سامانه نیاز آب‌گرفته شد.

نتایج و بحث

تابع آب مصرفی- عملکرد- بهره وری مصرف آب

ارتباط آب مصرفی- عملکرد-کارایی مصرف آب در محل اجرای پژوهش به‌صورت رابطه درجه دوم بود (شکل۱ و معادله ۹). نتایج تخمین تابع‌تولید نشان داد که عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب با یکدیگر رابطه ترکیبی داشته و شکل این رابطه خطی نبوده و افزایش در عملکرد دانه الزاماً موجب افزایش در بهره‌وری مصرف آب نخواهد شد، مشروط بر این‌که میزان آب تبخیر-تعرق یافته نوسان زیادی نداشته باشد. اما چنانچه افزایش در عملکرد دانه، با فراتر رفتن از محدودهای همراه با افزایش در مصرف آب باشد، رابطه بین بهره‌وری مصرف آب و عملکرد دانه دست‌خوش تغییر شده و حتی معکوس خواهد شد (Majdansiri et al., 2003).

باتاری و همکاران (۲۰۲۰)[۱۶] کارایی مصرف آب گیاه گلرنگ را در طی دو سال در تیمارهای مختلف آبیاری بررسی کردند و گزارش نمودند که شرایط آبیاری به‌طور قابل‌توجهی با تیمار بدون آبیاری متفاوت بود و کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری پیش فصلی به ترتیب ۳۰ و ۱۱۴ درصد بیشتر از تیمار بدون آبیاری بود. سینگ و همکاران (۲۰۱۶)[۱۷] گزارش کردند که توانایی گلرنگ در استخراج رطوبت خاک از اعماق بیشتر در مرحله پر شدن بذر بیشتر بوده که آن را سریع‌تر تبدیل زیست‌توده می‌کند و درنهایت عملکرد بذر را کارآمدتر می‌کند و بر کارایی مصرف آب و میزان عملکرد می‌افزاید. نتایج پژوهش مجد مجدانصیری و همکاران (۲۰۰۳)[۱۸] نشان داد که بهره‌وری مصرف آب در گیاه گلرنگ در دو کشت بهاره و تابستانه در سطح یک درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند و کشت دوم دارای ۱۷درصد برتری بود و کشت تابستانه ازنظر تولید دانه با ۴۷۴ کیلوگرم در هکتار، عملکرد کمتری داشت، اما درمجموع به لحاظ بهره‌وری مصرف آب به‌وضوح برتر از کشت بهاره بود.



شکل ۱. رابطه آب مصرفی، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در گلرنگ رقم سینا

$$Y = 582.9336 - 0.0188WU - 12.187Wp + 0.000007356WU^2 + 1.0018WU \times Wp + 1.6502Wp^2 \quad (۹)$$

$P=7.9\times10^{-17}$ $R^2=0.98$ $SE=7.9\times10^{-15}$

که در آن y عملکرد بر اساس کیلوگرم در هکتار، WU مقدار آب مصرفی برحسب میلی‌متر و WP بهره‌وری مصرف آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

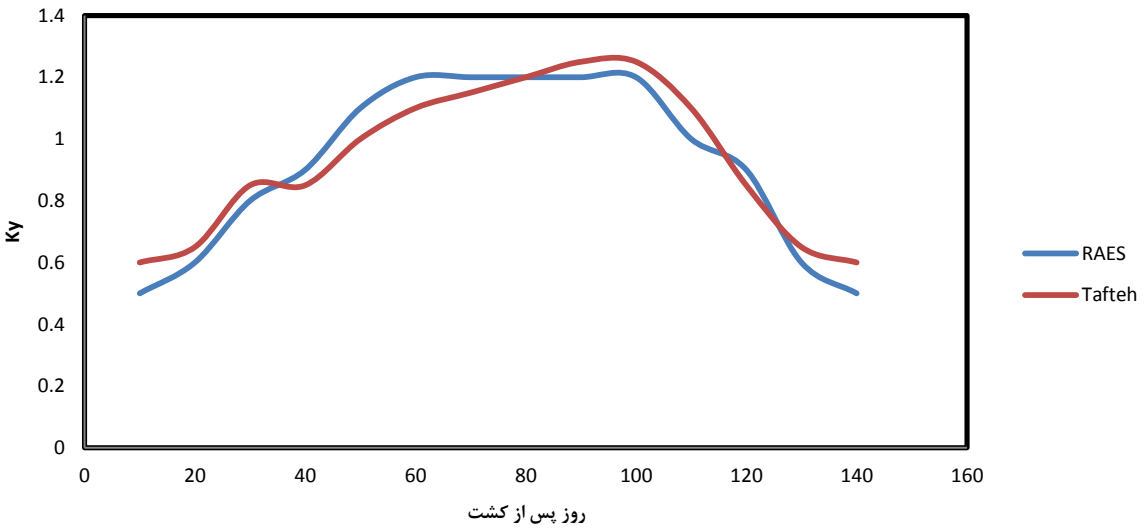
مقادیر تبخیر-تعرق و بیلان آب

بر اساس تیمارهای اعمال‌شده مقادیر تبخیر-تعرق گلرنگ با استفاده از روش بیلان آب در خاک تعیین شد. نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌ها در مزرعه در جدول (۳) ارائه شد. نتایج نشان داد که کمترین تبخیر-تعرق مربوط به تیمار ۳۰ درصد نیاز آبی با

۱۸۹/۸ میلی‌متر و بیشترین مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۶۳۲/۷ میلی‌متر متغیر بود. با استفاده از داده‌های سال اول مقدار ضریب حساسیت گیاه با استفاده از افزونه SOLVER محاسبه و بهترین برازش در شرایط مختلف تنش آبی تعیین شد که نتایج آن در شکل (۲) ارائه شد. بر اساس ضریب حساسیت به‌دست‌آمده، دو تابع تولید ارائه‌شده توسط ریس و تافته مقدار عملکرد گیاه در بازه‌های ۱۰ روز بر اساس پیشنهاد (Ebrahimipak and Tafteh, 2018) شبیه‌سازی شد (شکل ۲). برای بررسی نتایج به‌دست‌آمده از دو تابع تولید مقادیر تخمین زده‌شده از دو روش به همراه مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول (۴) ارائه شد. نتایج به‌دست‌آمده از برازش دو تابع تولید نشان می‌دهد که متوسط عملکرد اندازه‌گیری شده در دو سال ۲۲۳۶/۴ کیلوگرم در هکتار و متوسط عملکرد شبیه‌سازی‌شده با استفاده از روش ریس ۲۲۹۲/۱ کیلوگرم بر هکتار و با استفاده از روش تافته ۲۲۰۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار هست. برای تحلیل آماری نتایج سال دوم به‌دست‌آمده از شاخص‌های آماری RMSE، NRMSE، MBE، d و EF استفاده شد که مقادیر هر شاخص در شکل‌های (۳) و (۴) ارائه‌شده است. با استفاده از شاخص‌های آماری مقادیر به‌دست‌آمده موردبررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۳) برای روش ریس و در شکل (۴) برای روش تافته ارائه‌شده است.

جدول ۳. مقادیر تبخیر تعرق گلرنگ رقم سینا در تیمارهای موردمطالعه

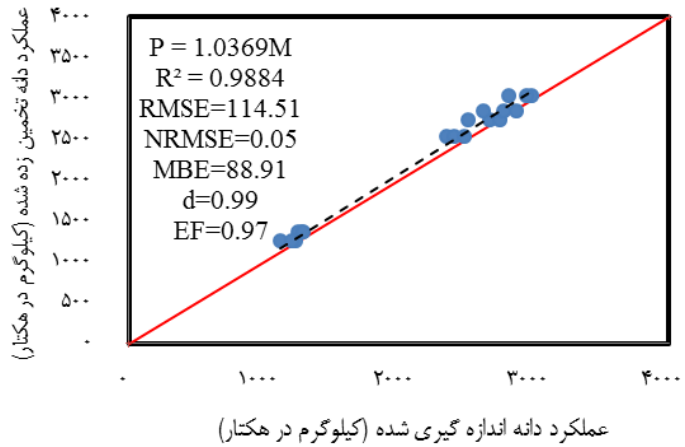
	سال اول				سال دوم			
روز پس از کاشت	شاهد	۳۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۷۰ درصد نیاز آبی	شاهد	۳۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۷۰ درصد نیاز آبی
۱۰	۹/۸۵	۳/۲۵	۶/۵	۷/۳۹	۸/۵	۲/۹	۵/۹۱	۶/۹۰
۲۰	۱۰/۲۹	۳/۴۰	۶/۷۹	۷/۷۲	۹/۸	۳/۹	۶/۱۸	۷/۲۰
۳۰	۱۰/۹۸	۳/۶۲	۷/۲۴	۸/۲۳	۹/۵	۳/۲۹	۶/۵۹	۷/۶۸
۴۰	۱۹/۴۶	۶/۴۲	۱۲/۸۴	۱۴/۵۹	۱۵/۵	۵/۸۴	۱۱/۶۸	۱۳/۶۲
۵۰	۴۱/۰۹	۱۳/۵۶	۲۷/۱۲	۳۰/۸۲	۳۸/۵	۱۲/۳۳	۲۴/۶۵	۲۸/۷۶
۶۰	۵۸/۲۳	۱۹/۲۲	۳۸/۴۳	۴۳/۶۷	۵۵/۵	۱۷/۴۷	۳۴/۹۴	۴۰/۷۶
۷۰	۶۳/۶۹	۲۱/۲	۴۲/۴	۴۷/۷۷	۶۱/۵	۱۹/۱۱	۳۸/۲۱	۵۸/۴۴
۸۰	۶۷/۱۷	۲۲/۱۷	۴۴/۳۳	۵۰/۳۸	۶۶/۶	۲۰/۱۵	۴۰/۳۰	۴۷/۲
۹۰	۷۱/۳۱	۲۳/۵۳	۴۷/۶	۵۳/۴	۷۰/۲	۲۱/۳۹	۴۲/۷۸	۴۹/۹۲
۱۰۰	۶۵/۴	۲۱/۵۸	۱۶/۴۳	۴۹/۵	۶۵/۴	۱۹/۶۲	۳۹/۲۴	۴۵/۷۸
۱۱۰	۷۵/۲۰	۸۱/۲۴	۴۹/۶۳	۵۶/۴۰	۶/۷۳	۲۲/۵۶	۴۵/۱۲	۵۲/۶۴
۱۲۰	۶۶/۴۰	۲۱/۹۱	۴۳/۸۳	۴۹/۸۰	۵۷/۵	۱۹/۹۲	۳۹/۸۴	۴۶/۴۸
۱۳۰	۵۶/۵۷	۱۸/۵۷	۳۷/۱۴	۴۲/۲۰	۵۵/۴	۱۶/۸۸	۳۳/۷۶	۳۹/۳۹
۱۴۰	۱۷/۴	۵/۷	۱۱/۴۹	۱۳/۵	۱۶/۵	۵/۲۲	۱۰/۴۴	۱۲/۱۸
جمع	۶۳۲	۲۰۸	۴۱۷	۴۷۴	۶۰۳	۱۸۹	۳۷۹	۴۴۲



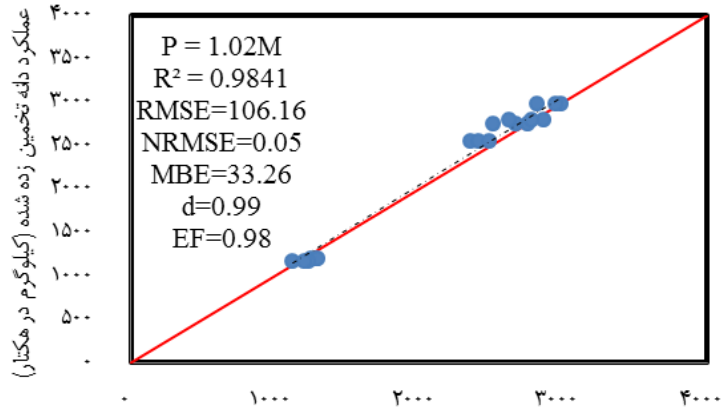
شکل ۲. مقادیر ضریب حساسیت گیاه واسنجی شده برای گیاه گلرنگ رقم سینا بر اساس هر دو تابع

جدول ۴. مقادیر عملکرد گلرنگ در تیمارهای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در دو سال

تیمار	اندازه‌گیری شده (کیلوگرم بر هکتار)	روش ریس (کیلوگرم بر هکتار)	روش تافته (کیلوگرم بر هکتار)
۳۰ درصد نیاز آبی سال اول	۱۲۸۸	۱۳۶۵	۱۱۸۸
۳۰ درصد نیاز آبی سال اول	۱۲۵۵	۱۳۶۵	۱۱۸۸
۳۰ درصد نیاز آبی سال اول	۱۲۹۶	۱۳۶۵	۱۱۸۸
۶۰ درصد نیاز آبی سال اول	۲۶۷۲	۲۷۳۹	۲۷۵۰
۶۰ درصد نیاز آبی سال اول	۲۷۵۶	۲۷۳۹	۲۷۵۰
۶۰ درصد نیاز آبی سال اول	۲۵۲۰	۲۷۳۹	۲۷۵۰
۷۰ درصد نیاز آبی سال اول	۲۹۸۸	۳۰۲۷	۲۹۷۹
۷۰ درصد نیاز آبی سال اول	۲۸۲۰	۳۰۲۷	۲۹۷۹
۷۰ درصد نیاز آبی سال اول	۲۹۵۰	۳۰۲۷	۲۹۷۹
۳۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۱۱۲۲	۱۲۵۵	۱۱۷۰
۳۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۱۲۳۶	۱۲۵۵	۱۱۷۰
۳۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۱۲۰۹	۱۲۵۵	۱۱۷۰
۶۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۲۳۶۰	۲۵۲۷	۲۵۴۱
۶۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۲۴۱۵	۲۵۲۷	۲۵۴۱
۶۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۲۴۸۹	۲۵۲۷	۲۵۴۱
۷۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۲۸۷۰	۲۸۳۹	۲۷۸۹
۷۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۲۶۳۰	۲۸۳۹	۲۷۸۹
۷۰ درصد نیاز آبی سال دوم	۲۷۸۰	۲۸۳۹	۲۷۸۹



شکل ۳.مقایسه مقادیر عملکرد تخمین زده‌شده توسط روش ریس و اندازه‌گیری شده گیاه گلرنگ رقم سینا در دو سال

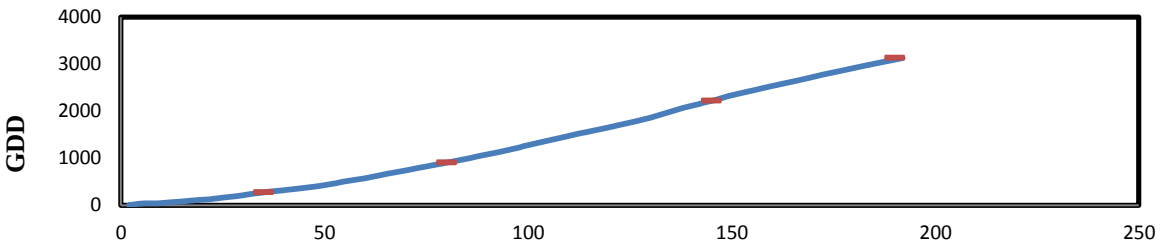


شکل ۴. مقایسه مقادیر عملکرد تخمین زده‌شده توسط روش تافته و اندازه‌گیری شده گیاه گلرنگ رقم سینا در دو سال

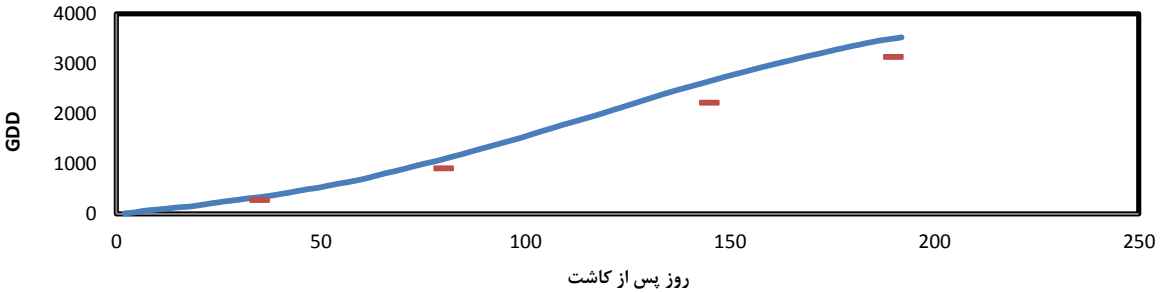
مقدار ریشه میانگین مربعات خطا درروش ریس (۲۰۰۴)[۱۹] و ضرایب واسنجی شده آن برابر با ۱۱۴ کیلوگرم در هکتار و مقدار نرمال شده آن حدود ۵ درصد می‌باشد، به‌طوری این تابع ۸۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد را بیشتر برآورد می‌نماید. شاخص کارایی این روش ۰/۹۷ به‌دست‌آمده که بسیار مناسب بوده و کارایی بالای این مدل را در تعیین عملکرد گلرنگ در شرایط تنش آبی ارائه می‌نماید که با نتایج ارائه‌شده توسط تافته و همکران (۲۰۱۴)[۲۰] منطبق است. از طرف دیگر مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در روش تافته و همکاران (۲۰۱۳)[۲۱] و ضرایب واسنجی شده آن برابر با ۱۰۶ کیلوگرم در هکتار و مقدار نرمال شده آن حدود ۵ درصد بود. در این روش عملکرد گلرنگ ۳۳ کیلوگرم در هکتار بیشتر برآورد شده است. از طرفی شاخص کارایی این روش ۰/۹۸ به‌دست‌آمده که نسبت به‌روش ریس کارایی بهتری را با توجه به ضرایب حساسیت به‌دست‌آمده از خود نشان داده است؛ بنابراین این روش با واسنجی ضریب حساسیت و به دلیل ساختار محاسبات این روش که وابستگی بیشتری به ضریب حساسیت گیاه دارد عملکرد مناسب‌تری داشته و کارایی بالاتری را از خود نشان می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد مقادیر ضریب حساسیت گیاه به‌تنش آبی برای ارقام مختلف این گیاه نیز موردبررسی قرار گیرد. برای جمع‌بندی بهتر مجموع نتایج آماری در جدول (۳) ارائه‌شده. شاخص میانگین انحراف از خطا نشان می‌دهد که روش ریس ۸۸ کیلوگرم در هکتار و روش تافته ۳۳ کیلوگرم در هکتار مقدار عملکرد را بیشتر تخمین می‌زنند و مقدار ریشه میانگین خطای استاندارد درروش ریس ۱۱۴ کیلوگرم در هکتار و درروش تافته ۱۰۶ کیلوگرم در هکتار است. از طرفی شاخص توافق هر دو تابه ۹۹ درصد است که عالی است. ازنظر ضریب کارایی مدل نیز روش ریس با ۹۷ درصد و روش تافته با ۹۸ درصد دارای کارایی مناسب و قابل قبولی هستند که این نتایج با پژوهش ارائه‌شده توسط عبدزاد گوهری و همکاران (۲۰۲۲)[۲۲] در گیاه بادام‌زمینی منطبق است. بنابراین، هر دو روش نتایج قابل قبولی را در تعیین عملکرد گیاه گلرنگ ارائه نمودند و این اطلاعات در برنامه‌ریزی آبی گیاه بسیار پراهمیت می‌باشد(Behmanesh et al., 2022). ازاین‌رو از هر دو روش می‌توان در تعیین عملکرد گلرنگ در شرایط تنش آبی استفاده نمود. البته ضرایب حساسیت به‌دست‌آمده در مورد رقم سینا بوده و لازم است در مورد سایر ارقام گیاه گلرنگ نیز این بررسی‌ها مجدد انجام گردد و ضرایب مناسب برای آن‌ها نیز ارائه گردد.

مقدار روز درجه رشد با استفاده از روش مستقیم و روش اصلاح‌شده نیز موردبررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۵ و ۶ ارائه‌شده است. نقاط قرمزرنگ روی نمودار ۴ مرحله رشد استاندارد گیاه گلرنگ را نمایش می‌دهد.

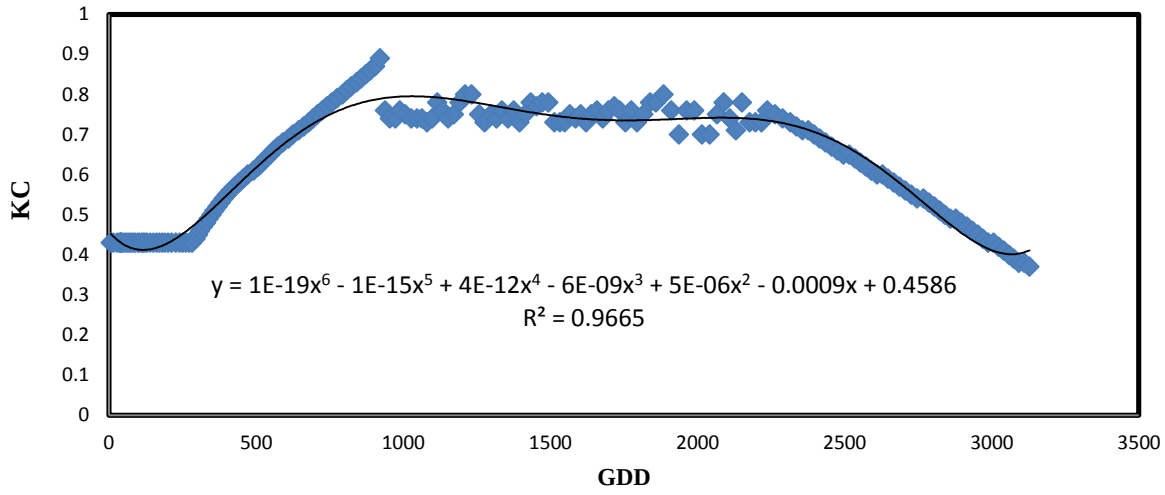
سپس با استفاده از این نتایج مقادیر ضریب گیاهی گلرنگ که از سامانه نیاز آب مستخرج شد و مقادیر استخراج‌شده با مقادیر گزارش‌شده توسط بهمنش و همکاران (۲۰۲۱)[۲۳] منطبق بود. لذا رابطه این مقادیر با شاخص GDD موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رابطه درجه ۶ بین ضریب گیاهی و مقادیر ضریب گیاهی وجود دارد.



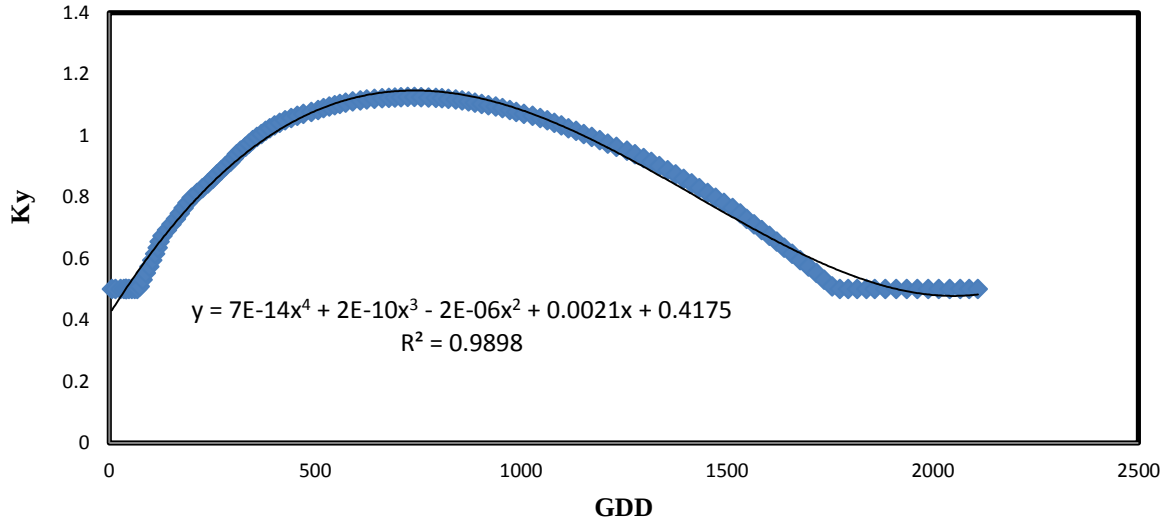
شکل ۵. روز درجه رشد به روش اصلاح‌شده گیاه گلرنگ در مزرعه موردمطالعه در کرمانشاه



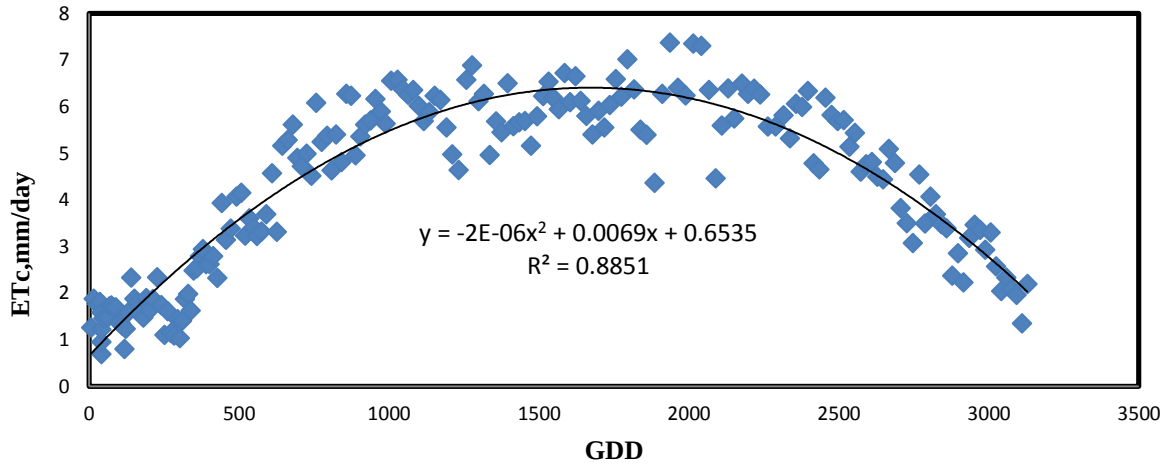
شکل ۶. روز درجه رشد به روش مستقیم گیاه گلرنگ در مزرعه موردمطالعه در کرمانشاه



شکل ۷. رابطه ضریب تبخیر تعرق (KC) با شاخص روز درجه رشد گیاه گلرنگ در مزرعه موردمطالعه در کرمانشاه



شکل ۸. رابطه ضریب حساسیت گیاه (Ky) به تنش آبی با شاخص روز درجه رشد گیاه گلرنگ در مزرعه موردمطالعه در کرمانشاه



شکل ۹. رابطه نیاز آبی گیاه گلرنگ با شاخص روز درجه رشد در مزرعه موردمطالعه در کرمانشاه

نتایج در شکل ۷ نشان می‌دهد که رابطه مناسبی بین شاخص روز درجه رشد و ضریب گیاهی تبخیر تعرق وجود دارد و در صورت نداشتن اطلاعات اقلیمی کامل و مستقیم می‌توان از این شاخص جهت تعیین ضرایب گیاهی بهره برد. همچنین رابطه بین ضریب حساسیت به‌دست‌آمده و شاخص GDD نیز بررسی شد که نتایج آن در شکل ۸ ارائه شد.

نتایج نشان می‌دهد بین شاخص GDD و ضریب حساسیت گیاه Ky رابطه درجه ۴ وجود دارد لذا بر این اساس می‌توان مقادیر ضریب حساسیت را در صورت عدم وجود داده لازم با استفاده از این شاخص برآورد نمود. همچنین رابطه شاخص GDD با مقدار نیاز آبی گلرنگ نیز موردبررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۹ ارائه‌شده است.

نتایج نشان می‌دهد که مقدار روز درجه رشد با نیاز آبی رابطه درجه ۲ داشته ولی انطباق کمتری نسبت به بقیه پارامترها با شاخص GDD دارد. این هم به دلیل آن است که عوامل دیگری غیر از دما بر آن تأثیرگذارند و شاخص دمایی GDD به‌تنهایی نمی‌تواند برآورد مناسبی از نیاز آبی ارائه نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد عملکرد دانه در گلرنگ و بهره‌وری مصرف آب باهم ارتباط ترکیبی دارند و افزایش عملکرد دانه الزاماً باعث افزایش در بهره‌وری مصرف آب نخواهد شد. زیرا این امر مستلزم آن است که میزان آب تبخیر-تعرق یافته نوسان زیادی نداشته باشد. تحلیل آماری نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های موردمطالعه نشان داد که ضریب حساسیت گیاه گلرنگ بین ۰/۵ تا ۱/۲ متغیر است و این گیاه در مراحل میانی و گلدهی از بیشترین حساسیت را به کم‌آبی از خود نشان می‌دهد. لذا تنش‌آبی در این مراحل به‌هیچ‌وجه قابل توصیه نمی‌باشد. لذا عملکرد توابع تولید بررسی‌شده برای تعیین کاهش عملکرد در تنش‌های آبی مختلف قابل‌قبول بود که نشان‌دهنده کارایی بالای این دو تابع در شبیه‌سازی عملکرد در تنش‌های آبی گیاه گلرنگ می‌باشد. مدل‌های تافته و ریس نتایج قابل قبولی را در تعیین عملکرد گیاه گلرنگ ارائه نمودند. ازاین‌رو از هر دو روش می‌توان در تعیین عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش‌آبی استفاده نمود. البته ضرایب حساسیت به‌دست‌آمده در مورد رقم سینا بوده و لازم است در مورد سایر ارقام گیاه گلرنگ نیز این بررسی‌ها انجام گردد و ضرایب مناسب برای آن‌ها ارائه گردد. در صورت فقدان داده مناسب نیز می‌توان از شاخص GDD برای تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی بهره برد. لذا در مواردی که اطلاعات درزمینه نیاز آبی و ضرایب گیاهی موجود نباشد استفاده از این شاخص در تعیین موارد و دوره‌های فنولوژی گیاهی بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

Reference:

Abdzad Gohari, A., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. 2022. Investigation of water requirement system in determining the actual amount of irrigation water of peanut plant based on inverse solution of yield function under water stress conditions. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 16(3), 460-471.

Behmanesh, A., Egdernezhad, A., & Sepehri, S. 2021. Evaluation of AquaCrop Model in Simulating Safflower Yield, Biomass and Water Productivity under Different Irrigation Amounts. Iranian Journal of Soil and Water Research, 52(9), 2399-2413. doi: 10.22059/ijswr.2021.327254.669026

Behmanesh, A., Egdernezhad, A., & Sepehri Sadeghiyan, S. 2022. Safflower Plant Irrigation Planning under Different Irrigation Management Using Aquacrop Model. Water Management in Agriculture, 8(2), 67-78.

Beyyavas. V.. Haliloglus. H.. Copur. O.. and Yilmaz. A. 2011. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivar s; lines and populations under the semi-arid Conditions .South African Journal of Biotechnology. 10 :527-534.

Bhattaraia, B. Singha, S. Angadi, S.V. Begna, S. Sainia, R. Aulda, D. 2020. Spring safflower water use patterns in response to preseason and in-season irrigation applications. Agricultural Water Management. 228. 105876.https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105876.

Bortolheiro. F.P.. Silva. M..A. 2017. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 89(4):3051-3066.

Daneshvar, F., & Khajoei-Nejad, G. 2014. Study of bio-fertilizers application effects on yield potential and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.) cultivars under different irrigation regimes. Irrigation and Water Engineering, 4(4), 59-69. [in Persian]

Ebrahimi Pak, N., Tafteh, A., Hosseini, S.N., Keykhaei, F. 1401. Niazab System. Soil and Water Research Institute. http://niwr.ir. [in Persian]

Egdernezhad, A., EbrahimiPak, N. A., Tafteh, A., & Ahmadee, M. 2019. Canola Irrigation Scheduling using AquaCrop Model in Qazvin Plain. Water Management in Agriculture, 5(2), 53-64.

Fallah, A., Nouri, F., & Mansourifar, C. 2015. Evaluation the reaction of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to irrigation cutting stress at different growth stages. Journal of Plant Ecophysiology, 7(21), 89-102. [in Persian]

Farzi-Aminabad, R., Nasrollah zadeh, S., Ghassemi-Golezani, K. 2021. Response of Safflower in Water Deficit and Foliar Application of Putrescine and 24-Epibrassinolide. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION, 31(2), 289-302. doi: 10.22034/saps.2021.13110 [in Persian]

Fathi Amirkhiz, K. Amini Dehghi, M. and Heshmati, S .2015.Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. Iranian journal of crop science. 16(4):308-321. [in Persian]

Isanbullouglu. A.. Gocmen. E.. Gezer. E.. Pasa. C. and Konukcu. F. 2009. Effect of water stress at different

development stages on yield and water productivity of winter and summer safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agricultural Water Management. 96: 1429-1434.
javadi, H., & Mousavi, G. R. 2021. The effect of deficit-irrigation in reproductive stage on grain yield, yield components and oil percentage in safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Applied Field Crops Research, 33(4), 1-18. doi: 10.22092/aj.2021.124972.1377 [in Persian]
Jorooni, E., Alinejadian Bidabadi, A., & Maleki, A. (2017). Determination of crop water production function and response of total dry matter and grain yield to deficit irrigation in Maize. Water and Irrigation Management, 7(2), 241-256. doi: 10.22059/jwim.2017.235685.546[in Persian]
Majdansiri, b. Karimi, M. and Noor Mohammadi, Q. 2003.Effects of growing season and plant densities on water use efficiency in safflower (Carthamus tinctorious L.) cultivars and lines. Iranian journal of crop science. 4(4):235-246. [in Persian]
Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J., & Sahli, A. (2006). Simulation of yield decline as a result of water stress with robust soil water balance model. Agricultural Water Management, 81, 335-357.
Salem. N.. Msaada. K.. Dhifi. W. Sriti. J.. Mejri. H. Limam. F.. Marzouk. B. 2014. Effect of drought on safflower natural dyes and their biological activities. Experimental and Clinical Sciences International Online Journal for Advances in Science. 13: 1-18.
Shir esmaeili, G., Maghsoudi mood, A., Khajouei nezhad, G., & Abdolshahi, R. 2017. Responses of Safflower cultivars to irrigation treatments in spring and summer cropping seasons. Applied Field Crops Research, 30(3), 36-52. doi: 10.22092/aj.2018.116387.1221 [in Persian]
Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K., Begna, S., Auld, D., 2016a. Drought response and yield formation of spring safflower under diff erent water regimes in the semiarid Southern High Plains. Agric. Water Manag. 163, 354–362. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.10.010.
Tadayon M R, mohtashami M. 2020. Evaluation of the effect of jasmonic acid and ascorbic acid on some morphophysiological traits of safflower genotypes Under deficit irrigation regimes. Journal of Plant Process and Function 2020; 9 (35) :39-56 [in Persian]
Tafteh. A.. Babazadeh. H.. Ebrahimipak. N.A.. Kaveh. F. 2014a. Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. Journal of Irrigation and Drainage 63(5): 590–598.
Tafteh. A.. Ebrahimipak. N. A.. Babazadeh. H. and Kaveh. F. 2014b.Determine yield response factors of important crops by different production functions in qazvin plain. Ecology, Environment and Conservation 20 (2): 415-422.
Tafteh. A.. Ebrahimipak.. N. A.. Babazadeh. H. and Kaveh. F. 2013. Evaluation of Improvement of Crop Production Functions for Simulation Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. Journal of Agricultural Science. 5: 111-122.
Weinberg. Z.G.. Landau. S.Y.. Bar-Tal. A.. Chen. Y.. Gamburg. M.. Brener. S. and Dvash. L. 2005. Ensiling safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as an alternative winter forage crop. In: Park RS, Strong MD (Eds.), Proceedings of the 15th International Silage Conference. Belfast, Northern Ireland, July 3-6. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands, 169.
Yari, P., & Keshtkar, A. H. 2016. Correlation between Traits and Path Analysis of Safflower Grain Yield under Water Stress Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 14(3), 427-437. doi: 10.22067/gsc.v14i3.42699. [in Persian]

یادداشت ها

[1] *Carthamus Tinctorius*
[2] *Asteraceae*
[3] *Farzi et al., (2021)*
[4] *Javadi and Mousavi (2021)*
[5] *Shiresmaeili et al., (2017)*
[6] *Fallah et al., (2015)*
[7] *Daneshvar and khajavani (2014)*
[8] *Yari et al., (2016)*
[9] *Beyyavas et al., (2011)*
[10] *Stobboqlu et al., (2009)*
[11] *Raes et al., (2006)*
[12] *Tafteh et al., (2013)*
[13] *Zhou and Wang (2018)*
[14] *Grigorieva et al.(2010)*
[15] *Grigorieva et al.(2010)*
[16] *Batari et al., (2020)*
[17] *Sing et al., (2016)*
[18] *Majdansiri et al., (2003)*
[19] *Raes (2004)*
[20] *Tafteh et al., (2014)*
[21] *Tafteh et al.(2013)*
[22] *Abdzad Gohari et al. (2022)*
[23] *Behmanesh et al., (2021)*