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. 1 (49)

Received:
2022-12-02

Accepted:
2023-05-09

Pages: 13-25

The Effect of Deficit Irrigation Management and Nitrogen Fertilizer Levels on Yield and Water use Productivity in Soybean

Amir Nikaktar[1], Ali Neshat[*2] and Najmeh Yazdanpanah[3]

1) PhD student ،Department of Water Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.
2) Associate Professor ،Department of Water Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.
3) Associate Professor ،Department of Water Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran.
[*]Corresponding author email: a.neshat896@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: The deficit irrigation method with the aim of saving water consumption can be presented as a useful strategy in low water conditions and with the proper use of the amount of water consumption. Optimum use of water and proper use of fertilizer, in addition to increasing plant yield, increases the water productivity and fertilizer. Nitrogen is one of the main elements in plant nutrition, because of its importance in the plant's vital processes; its deficiency reduces performance more than other elements. The present research was conducted with the aim of investigating the effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on the yield and productivity of Williams cultivar soybeans in Hormozgan province.

Method: This experiment was conducted in the form of split plots in the form of randomized complete blocks in three replications in Hajiabad city (Hormozgan province) in two crop years 2021 and 2022. The main factor was irrigation in 6 levels without irrigation and providing 40, 60, 80, 100 and 120% of water requirement and the secondary factor was the amounts of nitrogen fertilizer (urea source) in four levels including zero, 50, 100, 150 and 200 kg/ha. Each experimental unit had dimensions of 5×20 m^2 and had 10 cultivation rows.

Results: The interaction effect of irrigation and nitrogen fertilizer on biological, pod and seed yields, harvest index, thousand seed weight, number of seeds per plant, pod length, water consumption efficiency in biological, pod and seed were significant at 1% level. The interaction effect of irrigation and fertilizer showed that the highest amount of biological, pod and seed yields in the conditions of 100% water requirement and 150 kg N/ha consumption were 6051, 4941 and 3049 kg/ha respectively. The maximum harvest index due to the interaction effect of irrigation and nitrogen fertilizer was in the conditions of 100% water requirement and with 100 and 150 kgN/ha fertilizer with an average of 0.43%. The interaction effect of irrigation and nitrogen fertilizer showed that the maximum thousand seed weight was with 120.8 g in the condition of 100 percent water requirement and fertilizer consumption of 200 kg/ha. The highest efficiency of water consumption based on biological, pod and seed yields were observed in conditions without irrigation and 150 kg N/ha in the amount of 5.61, 3.71 and 2.28 kg/m^3 respectively.

Conclusion: According to the results, the availability of water and sufficient nitrogen are two very important factors that affect the growth and yield of soybean. Therefore, in addition to the lack of water, the lack of nitrogen also causes stress on the growth and yield of soybean. With the upward trend of nitrogen fertilizer consumption, the yield decreased and if there is not enough water, the increase in nitrogen fertilizer consumption aggravates the effect of moisture stress and as a result the yield of the plant decreases, therefore, in water shortage conditions, Excessive use of nitrogen fertilizer is not recommended. According to the results, full irrigation and nitrogen consumption up to 150 kg/ha are suggested for the studied area.

Keywords: seed yield, water requirement, water use, Williams cultivar

10.30495/WSRCJ.2023.70738.11335

مقاله پژوهشی

بررسی اثر کم‌آبیاری و سطوح کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در گیاه سویا

امیر نیک اختر[1]، علی نشاط[2*] و نجمه یزدان پناه[3]

۱) دانشجوی دوره دکتری، گروه مهندسی آب، واحد کرمان، دانشگاه ازاد اسلامی، کرمان، ایران.
۲) دانشیار،گروه مهندسی آب، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.
۳) دانشیار،گروه مهندسی آب، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: a.neshat896@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: روش کم‌آبیاری با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سودمند در شرایط کم‌آبی و با استفاده مناسب از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شود. مصرف بهینه آب و استفاده مناسب از کود، علاوه بر افزایش میزان عملکرد گیاه، موجب افزایش بهره‌وری آب و کود می‌شود. نیتروژن یکی از عناصر اساسی در تغذیه گیاه است که به‌دلیل اهمیتی که در فرایندهای حیاتی گیاه انجام می‌دهد، کمبود آن بیش از سایر عناصر، عملکرد را کاهش می‌دهد. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر تنش آبی و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری گیاه سویا رقم ویلیامز در استان هرمزگان انجام پذیرفت.

روش پژوهش: این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان حاجی‌آباد (استان هرمزگان) در دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. عامل اصلی، آبیاری در شش سطح بدون آبیاری و تامین ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیازآبی و عامل فرعی مقادیر کود نیتروژن (منبع اوره) در چهار سطح شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ در کیلوگرم در هکتار بود. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۵×۲۰ متر و دارای ۱۰ ردیف کشت بود.

یافته‌ها: اثر متقابل آبیاری و سطوح کود نیتروژن بر عملکردهای بیولوژیکی، غلاف و دانه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته، طول غلاف، بهره‌وری مصرف آب در بیولوژیکی، غلاف و دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری و کود نشان داد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب با میانگین ۶۰۵۱ ، ۴۹۴۱ و ۳۰۴۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. حداکثر میزان شاخص برداشت در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با مصرف کودی ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۰/۴۳ درصد بود. اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۲۰/۸ گرم بود. بیشترین بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه در شرایط بدون آبیاری و مصرف کود نیتروژن به‌مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۵/۶۱، ۳/۷۱ و ۲/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج، دسترسی به آب و نیتروژن کافی، دو عامل بسیار مهمی هستند که بر رشد و عملکرد سویا اثر می‌گذارند. بنابراین علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن نیز باعث تنش بر رشد و عملکرد سویا می‌شود. با روند صعودی مصرف کود نیتروژن، میزان عملکرد کاهش یافت و در صورتی‌که آب به‌قدر کافی موجود نباشد، افزایش مصرف کود نیتروژن باعث تشدید اثر تنش رطوبتی شده و در نتیجه عملکرد گیاه کاهش می‌یابد، از این رو در شرایط کمبود آب، مصرف بیش از حد کود نیتروژن قابل توصیه نیست. با توجه به نتایج، آبیاری کامل و مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه‌ها: آب مصرفی، تابع تولید، رقم ویلیامز، عملکرد دانه، نیاز آبی

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 ۱ (۴۹)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۲/۱۹

صفحات: ۲۵-۱۳

10.30495/WSRCJ.2023.70738.11335

مقدمه

سویا (*Glycine max* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی‌است که به‌دلیل تثبیت نیتروژن، موجب تقویت خاک‌های زراعی می‌شود. دانه سویا حدود ۱۸ تا ۲۲ درصد روغن و ۳۵ تا۴۵ درصد پروتئین دارد (Abedi et al., 2019). پروتئین دانه سویا دارای کیفیت بالایی‌بوده و نقش مهمی در جیره غذایی دام و طیور دارد. محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی و استفاده بهینه از منابع آب در اولویت فعالیت‌های کشورهای مختلف قرار گرفته است (Babazadeh and Sarai Tabrizi, 2013). آب عامل مهم و با اهمیت در رشد و نمو سویا محسوب می‌شود و تأثیر بسزایی در میزان عملکرد دارد (Aminifar et al., 2011). در شرایط آبیاری، مواد فتوسنتزی بیشتری به‌دانه انتقال پیدا می‌کند و تولید ماده خشک در گیاه سویا افزایش می‌یابد (Akbari, 2012؛ Rostami Ajirloo et al., 2017). مدیریت کم‌آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سودمند در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شود. در این روش به‌طور آگاهانه به‌گیاه اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهد. تحقیقات نشان داد که تنش‌های ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی، به‌طور قابل‌توجهی رشد سویا را کاهش می‌دهد (Gavili et al., 2019). در پژوهشی تیمارهای آبیاری نرمال، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه را در ارقام سویا بررسی گردید و گزارش شد که قطع آبیاری موجب کاهش رشد و عملکرد تمامی ارقام شده و بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیکی به ترتیب با ۴۲۸۰ و ۹۳۳۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری نرمال برای رقم ویلیامز به‌دست آمد (Rostami Ajirloo et al., 2016). در پژوهشی تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری سنتی در حد ۷۵ و ۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک و آبیاری بخشی منطقه ریشه در حد۵۰ درصد جبران نقصان رطوبتی خاک، بررسی شد و عملکرد محصول به‌ترتیب ۳۷۹۸، ۳۶۶۷، ۳۲۶۹ و ۳۱۷۸ کیلوگرم بر هکتار گزارش گردید (Babazadeh and Sarai Tabrizi, 2012). در پژوهشی تیمارهای مختلف نیاز آبی را مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که با کاهش میزان آب مصرفی، عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار از ۲۶۷ تا ۳۹۵۲ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (Kirnak et al., 2010). بهره‌وری آب یکی از شاخص‌های مهم در مدیریت مصرف آب در مزرعه است که نسبت مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی را نشان می‌دهد. از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری آب در مزرعه می‌توان به استفاده از روش‌های مناسب آبیاری و مدیریت مصرف کود اشاره کرد (Ahmadi et al., 2015؛ Shams Beyranvand et al., 2015). نتایج مدیریت آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری ارقام سویا نشان داد که تنش آبی، اثر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا داشت و بیشترین بهره‌وری آب در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (Shams Beyranvand et al., 2015).

نیتروژن مهم‌ترین، ضروری‌ترین و پر مصرف‌ترین عنصر در گیاهان بوده که به علت نقش داشتن در ساخت‌اسیدهای آمینه و آنزیم‌ها، باعث افزایش رشد سبزینه‌ای، شدت رنگ سبز برگ‌ها، میزان پروتئین‌های گیاهی و افزایش تولید دانه می‌شود که در نهایت موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Rafiei et al., 2014؛ Bender et al., 2015 ؛ Gaspar et al., 2017). تحقیقات نشان داد که اگر فرآیند تثبیت نیتروژن در طی فصل در فراهم ساختن نیتروژن مورد نیاز سویا کافی نباشد، باید جهت دستیابی به‌عملکرد بالا، از طریق مصرف کودهای شیمیایی این کمبود را جبران نمود (Bender et al., 2015 ؛ Gaspar et al., 2017). تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه طی دوره رشد، موجب تحریک رشد اندام‌های هوایی شده و تعداد برگ بیشتری در طی مرحله رشد تولید می‌کند که نتیجه آن افزایش اندام هوایی و عملکرد بیولوژیک می‌باشد (Caliskan et al., 2008). در تحقیقی گزارش شد که عملکرد دانه سویا با استفاده از کود نیتروژن تا حد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد می‌شود (La Menza et al., 2017). استفاده از نیتروژن، منجر به‌رشد گیاه سویا در مراحل مختلف می‌شود (Islam et al., 2017). کمبود آب و کاربرد بی‌رویهٔ کودهای نیتروژن‌دار در سطح گسترده، از مهم‌ترین چالش‌هایی است که امروزه مورد توجه محققان است. اما کم‌آبیاری توام با بهینه‌سازی مصرف کود، یک راهکار مناسب برای دستیابی به تولید مناسب تحت شرایط محدودیت منابع آب است (Asadi et al., 2018). در پژوهشی اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن بر سویا نشان داد که صفات عملکرد، اجزای عملکرد، صفات مورفولوژیک تحت تأثیر اثر متقابل تنش و کود قرار دارد و با اعمال تنش آبی، میزان عملکرد بیولوژیک در سویا کاهش می‌یابد (Rostami Ajirloo., 2016).

تابع تولید یک رابطه کلی و کاربردی است که برای بیان واکنش کمی گیاه به‌پارامترها و نهاده‌های مختلف تولید مانند آب، کود، خاک، انرژی و سایر عوامل و شرایط زراعی استفاده می‌شود. با تعیین توابع تولید محصول نه‌تنها می‌توان به‌پایش تولید حصول در برابر مقدار آب مصرفی پرداخت بلکه می‌توان نقاط بهینه مصرف آب توسط محصول را طوری تعیین نمود که بیش‌ترین سود هم‌زمان با کم‌ترین مصرف آب به‌دست آید. با تخمین تابع تولید عملکرد-آب مصرفی- کود در شرایط محدودیت آب، می‌توان با انتخاب کود مناسب در محدوده مورد

مطالعه، بهترین مقدار آب مصرفی را انتخاب نمود. از آن‌جایی که محدودیت منابع آب قابل استفاده برای کشاورزی از عوامل مهم تعیین کننده سیاست‌های مدیریت آب در مزرعه به‌شمار می‌رود، معمولاً توابع تولید، مقدار محصول تولیدی را به‌صورت تابعی از آب مصرفی و یا آبی که صرف تبخیر-تعرق شده است، تعریف می‌کنند و تعیین این توابع می‌تواند گامی در راستای مدیریت صحیح مصرف آب در مزرعه باشد (Omodi et al., 2014). توابع تولید آب و ارزیابی روش و شیوه‌های آبیاری برای دستیابی به توسعه پایدار آب، بسیار با اهمیت است (Tafteh et al., 2020؛ Greaves et al., 2017). با توجه به این‌که در منطقه حاجی‌آباد (استان هرمزگان) پژوهشی در خصوص مدیریت آبیاری و کود نیتروژن بر روی گیاه سویا انجام نشده است، لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر مدیریت کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری گیاه سویا رقم ویلیامز تحت سطوح مختلف کود نیتروژن انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در استان هرمزگان و در شهرستان حاجی‌آباد با عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۸ دقیقه با ارتفاع متوسط ۱۱۹۶ متر از سطح دریا، در سال‌های زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۵×۲۰ متر و دارای ۱۰ ردیف کشت بود. عامل‌اصلی شامل بدون آبیاری و تامین ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی و عامل فرعی مقادیر کود نیتروژن شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود. داده‌های هواشناسی دوره مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی حاجی‌آباد دریافت شد (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک برای تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری گردید (جدول ۲). رقم کشت شدهٔ در این تحقیق ویلیامز بود. در اواسط اردیبهشت، زمین محل آزمایش برای از بین بردن کلوخه‌ها دیسک زده شد و تاریخ کاشت سویا ۳۰ اردیبهشت‌ماه بود. قبل از کشت نیز، بذر در قارچ‌کش کربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شد و در عمق ۳ سانتی‌متری خاک کشت گردید. بر اساس آزمون خاک، در ابتدای فصل کشت، ۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۱۲۰ کیلوگرم کود سولفات-پتاسیم استفاده گردید. میزان مصرف کود نیتروژن به‌صورت تقسیط در سه نوبت به خاک داده شد. در مرحله داشت، سه مرحله وجین جهت کنترل علف‌هرز انجام پذیرفت. بین سال زراعی اول و دوم، محصول زراعی دیگری کشت نشد و نقشه طرح در طی دو سال یکسان بود. در سال دوم، تکرارهای اصلی و فرعی تقریباً در مکان کرت‌های سال اول قرار گرفتند. با توجه به‌تکرار آزمایش، سطح مزرعه طوری مرتب شد که شرایط مشابه سال اول باشد و سطح زمین با آبشویی، خالی از نیتروژن گردد. روش آبیاری استفاده شده در این تحقیق از نوع آبیاری سطحی و فاصله بین دو ردیف ۵۰ سانتی‌متر، و فاصله بین گیاه در هر ردیف ۵ سانتی‌متر بود. برای تعیین تیمارهای آبیاری از تخلیه رطوبتی‌خاک استفاده شد و نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری به-عنوان درصدی از این مقدار منظور گردید. برای دستیابی به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری، رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه، به-نحوی محاسبه گردید که رطوبت خاک تا عمق ریشه به حد ظرفیت مزرعه برسد (رابطه ۱). مدت زمان آبیاری بر اساس رسیدن آب به جبهه رطوبتی در اطراف عمق ریشه گیاه بود.

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i).\rho_b.D_r \qquad (۱)$$

Θ_{Fc}: درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی. Θ_i: درصد وزنی رطوبت موجود در خاک. ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب). D_r: عمق مؤثر ریشه (سانتی‌متر). تعیین رطوبت لایه‌های مختلف خاک به‌روش وزنی انجام شد. اندازه‌گیری مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی توسط کنتور انجام گرفت. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه برابر با مجموع آب آبیاری و مقدار بارندگی در نظر گرفته شد (جدول ۳). پس از رسیدگی گیاه، اقدام به اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد شامل وزن هزاردانه، تعداد دانه در بوته، طول غلاف و بهره‌وری مصرف آب شد. برای اجرای صحیح نمونه‌برداری و حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های ردیف کناری و نیز بوته‌های واقع شده در ابتدا و انتهای کرت‌ها در نظر گرفته نشدند. برای تعیین عملکرد بیولوژیک، غلاف و دانه، ۱۲ بوته به طور تصادفی انتخاب گردید. سپس غلاف‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها از گیاه جدا گشتند و در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به‌وسیله ترازوی دقیق یک صدم توزین گردید. از مجموع غلاف خشک (همراه با دانه)، وزن ساقه خشک و وزن برگ خشک، عملکرد بیولوژیکی محاسبه شد. با استفاده از وزن غلاف خشک، عملکرد غلاف و دانه بر حسب گرم به‌دست آمد. سپس به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. عدد شاخص برداشت در هر پلات، از تقسیم وزن کل دانهٔ خشک بر عملکرد بیولوژیکی به دست آمد. برای تعیین وزن هزار دانه، تعداد ۱۰۰ دانه به طور تصادفی انتخاب و با ترازو (دقت یک صدم گرم) وزن گردید. جهت تعیین تعداد دانه در هر بوته و طول غلاف، تعداد غلاف‌های سالم از گیاه جدا شدند و دانه‌های داخل آن‌ها شمارش و طول غلاف با خط‌کش اندازه‌گیری شد. بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم برمترمکعب)، از تقسیم میزان عملکردها (کیلوگرم بر هکتار) بر میزان آب مصرفی (مترمکعب بر هکتار) محاسبه شد (Babazadeh and Sarai Tabrizi, 2012).

جدول ۱. برخی از خصوصیات هواشناسی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشد

ماه‌های مورد مطالعه	اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد		شهریور	
سال	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۴۰۱
بارندگی (میلی‌متر)	۳۲/۸	۳۱/۳	۹/۵	۸/۵	۳۰/۵	۳۰/۰	۱۲/۳	۱۵/۱	۰	۱
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۴۰/۲	۴۱/۴	۳۳/۳	۳۲/۲	۳۰/۲	۳۱/۳	۳۵/۷	۳۶/۵	۲۵/۴	۲۴/۹
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱/۹۸	۱/۸۸	۱/۹۳	۱/۸۰	۲/۰۸	۲/۰	۲/۲۶	۱/۹۹	۲/۸۱	۲/۷۰
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۳۸/۴	۳۹/۰	۴۵/۵	۴۶/۶	۴۴/۶	۴۴	۴۴/۵	۴۵	۴۱/۶	۴۲
حداقل دما (سانتی‌گراد)	۱۱/۲	۱۲/۱	۱۶/۸	۱۷/۵	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۱۴/۷	۱۵
تبخیر از تشتک (میلی‌متر در روز)	۶/۷	۶/۹	۱۱/۹	۱۲/۴	۱۳/۱	۱۳/۶	۱۲	۱۲/۱	۱۱/۰	۱۱/۴

جدول ۲. خصوصیات مربوط به خاک در مزرعه آزمایشی

سال	عمق خاک (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل(٪)	فسفر قابل جذب(mg/kg)	پتاسیم قابل جذب(mg/kg)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	رطوبت حجمی (٪) ظرفیت زراعی	رطوبت حجمی (٪) نقطه پژمردگی
۱۴۰۰	۳۰-۰	۱/۹	۰/۴۸۴	۰/۰۳۱	۴/۰۳	۱۰۵	۸	۳۲	۶۰	لومی‌شنی	۱۸/۱	۷
	۶۰-۳۰	۱/۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۵	۳/۳۶	۱۳۱	۱۰	۳۵	۵۵	لومی‌شنی	۲۰/۲	۸/۱
۱۴۰۱	۳۰-۰	۲/۰	۰/۵۳۶	۰/۰۹۱	۵/۱۱	۱۰۷	۸	۳۲	۶۰	لومی‌شنی	۱۸/۱	۷
	۶۰-۳۰	۱/۹	۰/۴۳۲	۰/۰۸۹	۴/۰۲	۱۳۵	۱۰	۳۵	۵۵	لومی‌شنی	۲۰/۲	۸/۱

وزن مخصوص ظاهری در عمق ۰ تا ۳۰ برابر با ۱/۴۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب و عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر برابر با ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود.

جدول ۳. مقدار آب مصرفی (میلی‌متر در دوره رشد) در مدیریت‌های‌مختلف آبیاری

مدیریت آبیاری	سال ۱۴۰۰	سال ۱۴۰۱
۴۰ درصد نیاز آبی	۲۶۵	۲۵۹
۶۰ درصد نیاز آبی	۳۵۴	۳۴۷
۸۰ درصد نیاز آبی	۴۴۴	۴۳۵
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۵۳۳	۵۴۱
۱۲۰ درصد نیاز آبی	۶۲۳	۶۳۲

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده در انتهای فصل زراعی ابتدا از نرم‌افزار MSTATC برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها استفاده می‌شود. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel و تعیین معادلات و ترسیم سه بعدی توابع تولید از مدل STATISTICA13 استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیکی

اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود و اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری و کود نشان داد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۶۰۵۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). شرایط کم‌آبی موجب کاهش برگ، فتوسنتز و تجمع ماده خشک می‌شود که در نهایت بیوماس تولیدی یا عملکرد بیولوژیکی را کاهش می‌دهد. عوارض کم‌آبی در زمان رشد رویشی به‌صورت رشد کم برگ‌ها، قطر کم‌ساقه و کوتاهی ارتفاع بوته ظاهر شد که نتیجه آن کاهش اندام هوایی بود. نتایج پژوهشی نشان داد که عملکرد بیولوژیکی از ۴۹۳۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب به ۴۲۵۹ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش ملایم و با اعمال کم‌آبی شدیدتر به ۳۶۵۳ کیلوگرم در هکتار رسید (Vahdi et al., 2019). نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که شرایط کم‌آبی، عملکرد بیولوژیکی سویا را ۲۳ درصد کاهش داد (Heidarzade et al., 2016). پژوهش‌ها نشان داد که تیمار کم‌آبی بر عملکرد بیولوژیکی در سطح یک درصد معنی‌دار بود و با افزایش شرایط کم‌آبی، عملکرد بیولوژیکی کاهش شدید داشت (Maleki et al., 2012). در تحقیقی نشان داده شد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی با ۷۳۷۹ کیلوگرم در هکتار به تیمار ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مرحله رشد رویشی و کمترین میزان با ۴۳۳۸ کیلوگرم در هکتار به تیمار بدون نیتروژن در مرحله غلاف‌دهی تعلق داشت (Tohidi, 2017).

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب عملکرد و صفات زراعی مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد بیولوژیکی	عملکرد غلاف	عملکرد دانه	شاخص برداشت	وزن هزار دانه
سال	۱	۲۷۹۱۰۹/۷**	۱۲۴۹۲۵/۴**	۴۷۱۴۲/۰۵**	۰/۰۰۰۱**	۸۵/۶۹۸**
تکرار	۴	۳۸۵۰۳۲/۳**	۱۷۲۶۴۸/۴**	۶۵۳۸۶/۱۴**	۰/۰۰۰۱^{ns}	۱۱۷/۶۴**
آبیاری	۵	۲۶۱۷۸۷۱۴**	۱۴۲۴۰۳۹۲**	۵۴۴۹۰۰۱/۶**	۰/۰۰۶۱**	۶۵۹۶/۰۹**
سال×آبیاری	۵	۱۲۳۷/۷۷^{ns}	۶۵۹/۶۲۲^{ns}	۲۵۴/۵۴^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۳۲۸^{ns}
خطا	۲۰	۷۰۵۲/۰۵۸	۳۲۹۸/۱۷۶	۱۲۶۵/۳۱۱	۰/۰۰۰۱	۲/۱۳۴
کود	۴	۷۴۵۲۸۵۷**	۳۹۳۲۵۶۱**	۱۵۳۸۶۷۰/۲**	۰/۰۰۰۱**	۱۹۹۳/۳۰*
سال×کود	۴	۱۷۸/۴۸۱^{ns}	۹۷/۶۸۹^{ns}	۴۱/۳۱۴^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۵۴^{ns}
آبیاری×کود	۲۰	۲۱۱۵۷۸/۱**	۹۰۷۲۹/۳۳**	۳۱۳۰۷/۵۴**	۰/۰۰۰۱**	۶۰/۹۳۸**
سال×آبیاری×کود	۲۰	۹۷/۶۱۱^{ns}	۴۳/۵۳۹^{ns}	۱۶/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}
خطا	۹۶	۲۵۶۹/۱۰۶	۱۱۲۸/۷۳۷	۴۲۸/۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۷۷۳
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۰۰۱	۰/۹۰

**و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد، ns: غیرمعنی‌دار.

ادامه جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب عملکرد و صفات زراعی مورد مطالعه

منابع تغییرات	تعداد دانه در بوته	طول غلاف	بهره‌وری مصرف آب در		
			عملکردبیولوژیکی	عملکردغلاف	عملکرددانه
سال	۴۵**	۰/۲۴۹**	۰/۰۲۸**	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۶**
تکرار	۶۵/۵۸۳**	۰/۳۰۶**	۰/۰۲۷**	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۴**
آبیاری	۵۳۸۷/۷۴۷**	۱۳/۸۶۸**	۶۸/۱۶۱**	۲۸/۶۷۸**	۱۰/۷۸۲**
سال×آبیاری	۰/۳۴۷^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۱/۴۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱
کود	۱۹۲۷/۰۴۲**	۳/۵۵۵**	۱/۱۹۳**	۰/۶۱۳**	۰/۲۳۵**
سال×کود	۰/۲۳۶^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
آبیاری×کود	۳۳/۲۲۲**	۰/۱۷۲**	۰/۳۰۱**	۰/۱۴۵**	۰/۰۵۵**
سال×آبیاری×کود	۰/۱۱۶^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۰/۵۴۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	۱/۰۲	۱/۱۷	۱/۹۴	۱/۹۱	۱/۹۴

*و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد، ns: غیر معنی‌دار.

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر متقابل آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر صفات مورد مطالعه در سویا

مدیریت نیاز آبی	کود نیتروژن (kg/ha)	عملکرد بیولوژیکی (kg/ha)	عملکرد غلاف (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	شاخص برداشت (٪)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در بوته	طول غلاف (cm)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3) بر مبنای	
									عملکرد دانه	عملکرد غلاف	عملکرد بیولوژیکی
دیم (بدون آبیاری)	۰	۳۴۰۶t	۲۱۸۴w	۱۳۴۱w	۰/۳۰j	۶۰/۵v	۴۴x	۳/۲q	۱/۵۷e	۲/۵۶e	۳/۹۸e
	۵۰	۴۲۸۹r	۲۸۰۳u	۱۷۱۵u	۰/۳۰j	۷۷/۲t	۵۵u	۴/۱o	۲/۱d	۳/۲۸d	۵/۰۲d
	۱۰۰	۴۳۳۴r	۲۸۷۲t	۱۷۶۱t	۰/۳۰j	۸۰/۴s	۵۶u	۴/۲mn	۲/۶c	۳/۳۶c	۵/۰۷c
	۱۵۰	۴۷۹۹o	۳۱۷۵p	۱۹۵۰q	۰/۳۰j	۸۱/۵qr	۶۴q	۴/۱no	۲/۲۸a	۳/۷۱a	۵/۶۱a
	۲۰۰	۴۶۲۱p	۳۰۰۶r	۱۸۴۸s	۰/۳۰j	۸۲/۴q	۶۱s	۴/۲mn	۲/۱۶b	۳/۵۲b	۵/۴۱b
۴۰ درصد	۰	۳۹۸۹s	۲۵۶۲v	۱۵۷۱v	۰/۳۲i	۶۹/۷u	۵۰w	۳/۶p	۰/۶۳l	۱/۳b	۱/۶۰j
	۵۰	۴۷۹۲o	۳۱۰۷q	۱۹۱۷r	۰/۳۲i	۸۴/۹p	۶۰t	۴/۴l	۰/۷۲i	۱/۱۷j	۱/۸۰h
	۱۰۰	۴۸۶۵n	۳۲۱۴o	۱۹۷۷p	۰/۳۳hi	۸۸/۸o	۶۲rs	۴/۶k	۰/۷۴h	۱/۲۱h	۱/۸۳h
	۱۵۰	۵۳۱۷l	۳۴۹۵m	۲۱۶۰n	۰/۳۳hi	۸۹/۲o	۷۰n	۴/۵k	۰/۸۱f	۱/۳۱h	۲/۰۰f
	۲۰۰	۵۱۴۳m	۳۳۲۴n	۲۰۵۷o	۰/۳۲i	۹۰/۴n	۶۷o	۴/۵k	۰/۷۷g	۱/۲۵g	۱/۹۳g
۶۰ درصد	۰	۴۴۵۶q	۲۹۱۲s	۱۷۸۲t	۰/۳۴gh	۸۱/۳rs	۵۴v	۴/۲m	۰/۵۴pq	۰/۸۷h	۱/۳۴n
	۵۰	۵۳۲۳l	۳۴۹۴m	۲۱۶۳n	۰/۳۵g	۹۸/۵m	۶۶p	۵/۱j	۰/۶۱mn	۰/۹۸k	۱/۴۹k
	۱۰۰	۵۲۷۱l	۳۵۱۸m	۲۱۷۴n	۰/۳۵g	۱۰۰/۳l	۶۵pq	۵/۱i	۰/۶۱m	۰/۹۹k	۱/۴۸k

مدیریت نیاز آبی	کود نیتروژن (kg/ha)	عملکرد بیولوژیکی (kg/ha)	عملکرد غلاف (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	شاخص برداشت (٪)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در بوته	طول غلاف (cm)	بهره‌وری مصرف آب (kg/m^3) بر مبنای		
									عملکرد دانه	عملکرد غلاف	عملکرد بیولوژیکی
	۱۵۰	۵۸۶۴i	۳۹۲۰j	۲۴۱۹k	۰/۳۵g	۱۰۲/۸k	۷۶kl	۵/۱i	۰/۶۸j	۱/۱۰i	۱/۶۵i
	۲۰۰	۵۷۳۶k	۳۷۸۳l	۲۳۳۰m	۰/۳۵g	۱۰۵/۱i	۷۳m	۵/۳gh	۰/۶۵k	۱/۶ij	۱/۶۱ij
۸۰ درصد	۰	۴۸۰۹no	۳۱۸۲op	۱۹۵۴pq	۰/۳۷f	۸۲/۳qr	۶۲r	۴/۲m	۰/۴۷t	۰/۷۷q	۱/۱۶q
	۵۰	۵۷۴۸jk	۳۸۵۵k	۲۳۷۱l	۰/۳۷f	۹۹/۹l	۷۵l	۵/۰j	۰/۵۳q	۰/۸۶o	۱/۲۹o
	۱۰۰	۵۸۰۵j	۳۹۴۶j	۲۴۳۱k	۰/۳۸ef	۱۰۴/۰j	۷۶k	۵/۲h	۰/۵۴p	۰/۸۸o	۱/۳۰o
	۱۵۰	۶۳۹۴f	۴۳۸۲f	۲۶۷۸f	۰/۳۸ef	۱۰۶/۱h	۸۷e	۵/۲h	۰/۶۰n	۰/۹۸l	۱/۴۳l
	۲۰۰	۶۱۷۳g	۴۱۶۱h	۲۵۴۷i	۰/۳۷f	۱۰۶/۸gh	۸۳h	۵/۲gh	۰/۵۷o	۰/۹۳m	۱/۳۸m
۱۰۰ درصد	۰	۶۵۰۱e	۴۳۷۵f	۲۶۸۲f	۰/۴۱bc	۱۱۰/۴f	۸۵g	۵/۶d	۰/۵۰s	۰/۸۲p	۱/۲۱p
	۵۰	۶۵۳۸e	۴۴۲۳e	۲۷۳۸e	۰/۴۲ab	۱۱۲/۸e	۸۶fg	۵/۷c	۰/۵۱r	۰/۸۲p	۱/۲۲p
	۱۰۰	۶۵۴۹e	۴۵۰۴d	۲۷۸۳d	۰/۴۳a	۱۱۶/۴c	۸۷ef	۵/۸b	۰/۵۲r	۰/۸۴p	۱/۲۲p
	۱۵۰	۷۱۷۴a	۴۹۴۱a	۳۰۴۹a	۰/۴۳a	۱۱۸/۵b	۹۸a	۵/۸b	۰/۵۷o	۰/۹۲n	۱/۳۴n
	۲۰۰	۷۰۲۳b	۴۷۷۴b	۲۹۴۱b	۰/۴۲ab	۱۲۰/۸a	۹۵b	۵/۹a	۰/۵۵p	۰/۸۹no	۱/۳۱no
۱۲۰ درصد	۰	۶۱۰۶h	۴۰۷۱i	۲۵۰۰j	۰/۳۹de	۱۰۴/۱ij	۷۹j	۵/۳g	۰/۴۰x	۰/۶۵s	۰/۹۷s
	۵۰	۶۱۸۹g	۴۱۸۳h	۲۵۷۲h	۰/۳۹de	۱۰۷/۲g	۸۱i	۵/۴f	۰/۴۱wx	۰/۶۷s	۰/۹۹s
	۱۰۰	۶۱۶۶g	۴۲۳۰g	۲۶۰۱g	۰/۴۰cd	۱۱۰/۰f	۸۲i	۵/۵e	۰/۴۲w	۰/۶۷s	۰/۹۸s
	۱۵۰	۶۷۵۹c	۴۶۱۴c	۲۸۵۱c	۰/۴۰cd	۱۱۱/۹e	۹۲c	۵/۵e	۰/۴۶u	۰/۷۴r	۱/۰۸r
	۲۰۰	۶۶۶۴d	۴۴۷۵d	۲۷۷۰d	۰/۳۹de	d۱۱۵	۹۰d	۵/۶cd	۰/۴۴v	۰/۷۱r	۱/۰۶r

عملکرد غلاف

اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر عملکرد غلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، بیشترین میزان عملکرد غلاف در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود به مقدار با میانگین ۴۹۴۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). با افزایش آب مصرفی تا حد تامین نیاز کامل آبیاری، عملکرد غلاف افزایش یافت. در مطالعه‌ای شرایط کم‌آبیاری با سطوح آبیاری کامل، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد کمبود آب و بدون آبیاری بر روی سویا بررسی گردید و بیان شد که آبیاری کامل بالاترین عملکرد و تیمار بدون آبیاری کمترین عملکرد را داشت (Sincik et al., 2008). علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن نیز باعث تنش مضاعفی بر رشد و عملکرد گیاه می‌شود. افزایش نیتروژن تا حد مشخصی، منجر به تولید مقدار بیشتر ماده خشک و عملکرد دانه، توسعه ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک، باعث تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش حجم بخش هوایی گیاه و افزایش تبخیر-تعرق می‌شود (Bender et al., 2015).

عملکرد دانه

اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری و کود نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۰۴۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). در تحقیقی اثر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا بررسی گردید و بیان شد که تعداد غلاف در بوته مهم‌ترین جزء در تعیین عملکرد دانه بود و حدود ۵۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود (Yahyaei, 2007). در تحقیقی نشان داده شد، با وقوع تنش و اعمال کم‌آبیاری از عملکرد دانه کاسته شد، به طوری که گیا در شرایط تنش متوسط و شدید به ترتیب ۲۹ و ۴۳ درصد عملکرد کمتری نسبت به آبیاری مطلوب داشت (Daneshian et al., 2009). در پژوهشی، رژیم‌های مختلف آبیاری بر ارقام زودرس سویا نشان داد که با کاهش آبیاری از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۴۰ درصد، عملکرد دانه به شدت تقلیل یافت (Shams Beyranvand et al., 2015). در تحقیقی تأثیر تیمارهای آبیاری کامل، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی در گیاه سویا بررسی شد و گزارش گردید که عملکرد بیولوژیکی و دانه با شدت تنش‌آبی، کاهش پیدا می‌کند (Sincik et al., 2008). کود نیتروژن در سویا باعث افزایش عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن دانه و افزایش درصد پروتئین دانه شد (Tohidi, 2017). پژوهش Rostami Ajirloo., (2017) نشان داد که اثر متقابل تنش آبی و نیتروژن از دو طریق بر کمیت و کیفیت دانه سویا تأثیر می‌گذارد و با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز، آسیمیلات کمتری به دانه‌ها منتقل و عملکرد دانه کاهش می‌یابد و دیگری این‌که با تأثیر بر تثبیت نیتروژن، نیتروژن مورد نیاز گیاه تأمین نشده و کاهش

عملکرد دانه مشهود می‌گردد. تنش کمبود آب، عملکرد سویا را به‌واسطه کاهش اجزای عملکرد به‌ویژه وزن دانه، کاهش می‌دهد و بیشترین عملکرد زمانی به‌دست می‌آید که شرایط محیطی از جمله رطوبت قابل دسترس در تمامی مراحل رشد گیاه در حد مطلوب باشد. زمانی که آب به کار رفته از طریق آبیاری کمتر از مقدار نیاز آبی گیاه باشد، مقدار مواد غذایی و انتقال آن‌ها به سمت ریشه‌ها کاهش و به تبع آن جذب سایر مواد نیز در گیاهان کاهش می‌یابد (Abdzad Gohari *et al.*, 2021).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان شاخص برداشت در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با مصرف کودی ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۰/۴۳ درصد بود (جدول ۵). شاخص برداشت یکی از شاخص‌های مهم فیزیولوژیکی است که بیانگر درصد انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی گیاه به دانه‌ها است. در تحقیقی نشان داده شد که اثر کم‌آبی بر شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار بود و با اعمال کم‌آبی، شاخص برداشت در شرایط آبیاری کامل از ۴۹/۶ درصد به ۳۲/۷ درصد در شرایط کم‌آبی، کاهش یافت (Vahdi et al., 2019). در پژوهش‌ها کاهش شاخص برداشت در شرایط کم‌آبی به‌کاهش دسترسی به مواد پرورده در طی پرشدن دانه نسبت داده شده است (Maleki et al., 2012). شاخص برداشت سویا در ارقام و شرایط تنش تغییر می‌کند، به طوری که اگر در زمان گرده-افشانی و تشکیل دانه شرایط محیطی نامناسب باشد، دانه‌بندی به‌خوبی صورت نمی‌گیرد و عملکرد دانه به‌شدت کاهش می‌یابد که به‌دنبال آن شاخص برداشت نیز کاهش خواهد یافت (Yahyaei, 2007). در پژوهشی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن در گیاه سویا بررسی گردید و گزارش شد که میزان شاخص برداشت در سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، بالاترین درصد شاخص برداشت را با ۶۰/۱ درصد داشت (Yousefi et al., 2011).

وزن هزار دانه

اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۲۰/۸ گرم بود (جدول ۵). پژوهشی نشان داد که کم‌آبی موجب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Heidarzade et al., 2016). وزن هزاردانه در سویا تابع توانایی گیاه در تامین مواد پرورده برای مخزن‌ها و همچنین شرایط محیطی از قبیل فراهم بودن رطوبت و عناصر غذایی در هنگام پر شدن دانه‌ها می‌باشد و در صورت کم‌آبی و کمبود عناصر غذایی، سهم هر مخزن از مواد پرورده موجود، افزایش می‌یابد و در نتیجه دانه‌ها درشت‌تر شده و وزن هزار دانه نیز افزایش می‌یابد (Heidarzade et al., 2016). در تحقیقی نشان داده شد که مصرف کود نیتروژن در گیاه سویا موثر بود و بیشترین میزان وزن هزار دانه با ۱۴۱ گرم به تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مرحله رشد رویشی و کمترین میزان آن با ۱۱۲ گرم به تیمار بدون کود در مرحله گلدهی بود (Tohidi, 2017). در پژوهشی بیان شد که وزن هزار دانه بیشتر در کنترل عوامل ژنتیکی بوده و شرایط محیطی، کمتر آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Angadi., 2003). با این حال به نظر می‌رسد که در صورت فراهم بودن نیتروژن در زمان مناسب و به دلیل ایجاد پوشش گیاهی مطلوب و توسعه سطح سبز گیاه، قابلیت انجام فتوسنتز و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه افزایش یافته و دانه-های سنگین‌تری تولید می‌شود. پژوهش‌ها نشان داد که تحت شرایط کمبود کود و تنش آبی، بیشترین خسارت وارده به دانه سویا ناشی از ریزش گل‌ها بود و کاهش وزن دانه بر اثر تنش خشکی در مرحلهٔ پر شدن غلاف، قابل ملاحظه بود (Faraji, 2014؛ Tohidi, 2017؛ Azad Bakht et al., 2018؛ Heidarzade et al., 2016).

تعداد دانه در بوته

اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). در اثر متقابل آبیاری و کود بیشترین تعداد دانه در بوته در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۹۸ عدد بود (جدول ۵). تعداد دانه در گیاه سویا مهم‌ترین جزء عملکرد محسوب می‌شود و تحت تأثیر تعداد غلاف در گیاه و تعداد دانه در غلاف می‌باشد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین تعداد دانه در بوته حاصل شد و با افزایش کم‌آبی، تعداد دانه در بوته کاهش معنی‌داری یافت. در شرایط آبیاری کامل، گیاه با بهره‌گیری از همه شرایط محیطی و توسعه کافی اندام‌های رویشی و تولید مناسب مواد فتوسنتزی، بیشترین تعداد غلاف را تولید نمود و در نتیجه بیشترین تعداد دانه نیز در این سطح حاصل شد. اما با وقوع تنش کم‌آبی و کاهش تولید، ذخیره مواد فتوسنتزی، تعداد غلاف و در نتیجه تعداد دانه در گیاه کاهش یافت. در تحقیقی مشابه، گزارش شد که قطع آب در زمان گلدهی و نمو غلاف موجب کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف گردید و با اعمال تنش در مرحله گلدهی، حفظ وزن دانه موجب جبران کاهش تعداد دانه در بوته و حفظ عملکرد دانه گردید (Vahdi et al., 2019). کم‌آبی در

مرحله شروع تشکیل غلاف موجب افزایش ریزش گل و کاهش تعداد دانه در سویا می‌شود (Daneshian et al., 2010). نتایج پژوهش Tohidi, (2017) نشان داد که با افزایش کود نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در بوته افزایش می‌یابد. پژوهش ها نشان داد که اکثر صفات سویا نسبت به نیتروژن و خشکی واکنش منفی نشان می‌دهند که در این میان تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه نسبت به‌دیگر صفات آسیب بیشتری می‌بینند (Azad Bakht et al., 2018 ؛Tohidi, 2017 ؛Faraji, 2014).

طول غلاف

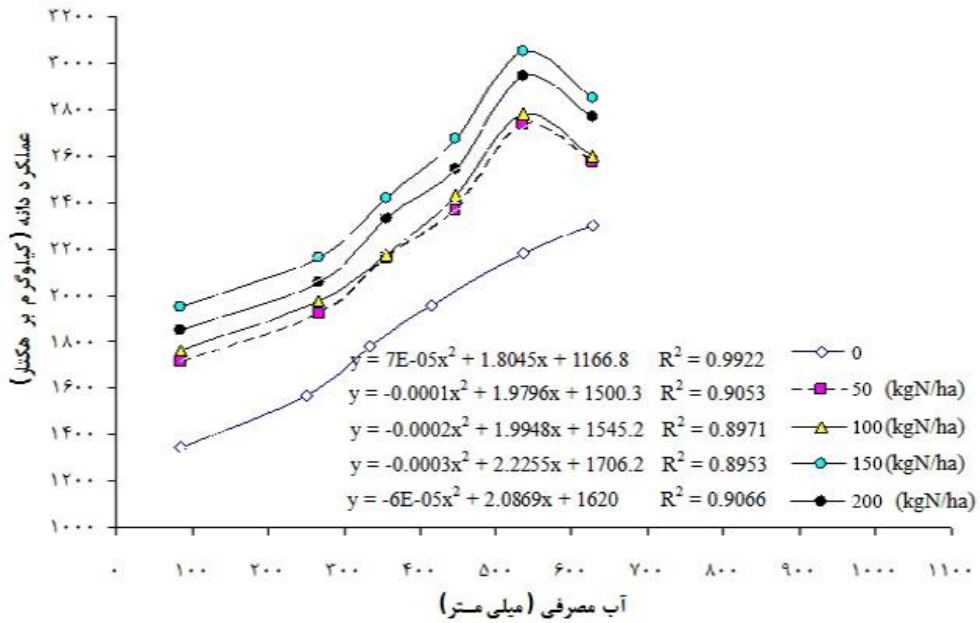
اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر طول غلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، بیشترین طول غلاف در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود به‌مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۵/۹ سانتی‌متر بود (جدول ۵). در پژوهشی بیان شد که کمترین طول غلاف در تیمار بدون کود و بیشترین طول غلاف در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب با مقادیر ۴/۱ و ۵/۸ سانتی‌متر گزارش کرد (Yousefi et al., 2011) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. غلاف‌ها در برگیرنده دانه‌ها بوده و از طرف دیگر تأمین کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها و تعیین کننده وزن آن‌ها هستند، از این‌رو مقدار مصرف آب و نیتروژن می‌تواند باعث افزایش تولید و تشکیل غلاف بشود، و با مصرف معین نیتروژن، تعداد غلاف افزایش می‌یابد (Azad Bakht et al., 2018).

بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، اثر آبیاری، اثر کود، اثر متقابل آبیاری و کود در سطح یک درصد بر بهره وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، بیشترین بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه در شرایط بدون آبیاری و مصرف کود به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با میانگین ۵/۶۱، ۳/۷۱ و ۲/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد (جدول ۵). مقایسه میان تیمارهای دیم و آبیاری بیانگر این نکته است که در شرایط دیم یا توجه به این‌که میزان آب مصرفی گیاه کمتر بود، اما بهره‌وری مصرف آب بالاتری را داشت که این امر به علت مصرف آب زیاد گیاه تحت شرایط آبیاری است. دلیل بالا بودن بهره‌وری مصرف آب در شرایط دیم، مصرف آب کمتر توسط گیاه می‌باشد و علت بالاتر بودن عملکرد غلاف تحت شرایط دیم را می‌توان به‌تحمل بیشتر گیاه نسبت به‌تنش آبی ربط داد. محدوده بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه در ارقام مختلف سویا در حالت آبیاری کامل از ۱/۶۶ تا ۲/۴۴ کیلوگرم ماده خشک به‌ازای هر گرم آب تعرق شده متغیر می‌باشد (Wright, 1996). بهره‌وری مصرف آب سویا بر مبنای عملکرد بیولوژیک با میانگین ۱/۱۱ کیلوگرم به‌ازای مصرف هر مترمکعب آب برآورد شد (Karam et al, 2005). مصرف مناسب آب و کود نیتروژن، باعث افزایش عملکرد غلاف و در نتیجه افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌شود. استفاده از نیتروژن باعث عمیق‌تر شدن سیستم ریشه‌ای و افزایش بهره‌وری از آب می‌شود. این مطلب علاوه بر سویا، در سایر گیاهان نیز صادق است (Majidian and Ghadiri, 2002 ؛Yousefi et al., 2011). در پژوهشی Das, (2003)، میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط آبیاری را ۰/۷۴ مترمکعب بر هکتار گزارش نمود. در پژوهشی دیگر Garcia et al., (2010)، دامنه نوسان بهره‌وری مصرف آب در عملکرد دانه سویا را در شرایط تنش و آبیاری کامل در محدوده ۰/۵۵ تا ۱/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. در پژوهشی Kiani and Raeisi, (2013) نشان دادند که بیشترین کارایی مصرف آب با بیشترین عملکرد مطابقت نداشت. به‌عبارت دیگر با افزایش مقدار آب از نقطه حداکثر کارایی مصرف آب، ممکن است منجر به افزایش عملکرد سویا شود ولی مقدار کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد.

ارتباط آب مصرفی و عملکرد

نتایج نشان داد که با مصرف آب آبیاری در محدوده ۸۶ تا ۵۳۷ میلی‌متر، مقدار عملکرد سویا با شیب متوسط و تقریباً به‌صورت خطی افزایش یافت (شکل ۱). افزایش میزان آب آبیاری به بیش از ۵۳۷ میلی‌متر، اثری بر عملکرد محصول ندارد. اما آبیاری تا میزان ۶۲۷ میلی‌متر، شیب رابطهٔ عملکرد با آب آبیاری به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داشت. به‌عبارت دیگر کاهش شدید شیب منحنی عملکردها در محدوده آب مصرفی ۵۳۷ تا ۶۲۷ میلی‌متر نشان‌گر آن است که نیاز آبی گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد تأمین گردیده است و افزایش مقدار آب آبیاری به‌بیش از این مقدار، اثر کاهشی بر عملکرد محصول خواهد داشت. همچنین کاهش عملکرد در شرایط کم‌آبی، احتمالاً به‌دلیل محدود بودن مخزن در جهت پذیرش مواد فتوسنتزی ذخیره شده در برگ‌ها و انتقال مجدد این مواد می‌باشد (Lack et al., 2021; Talebzadeh et al., 2018).



شکل ۱. ارتباط آب مصرفی با عملکرد دانه در سطوح مختلف کود نیتروژن

ارزیابی تابع تولید عملکرد-آب مصرفی-کود نیتروژن

اثر تنش آبی بر سویا نشان داد که عملکرد دانه تحت تاثیر مصرف آب قرار دارد و بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد. تعیین توابع آب مصرفی-عملکرد و آب مصرفی‌هزینه نیاز دارد. برای تعیین توابع آب مصرفی- کود-عملکرد از متوسط داده‌های عملکرد و عمق آب مصرفی در سطوح مختلف آبیاری و میزان کود نیتروژن مصرفی در سال اول و دوم کشت استفاده شد و مناسب‌ترین توابع ریاضی به‌دست آمد که نتایج آن در جدول (۶) و شکل‌های (۲ تا ۴) ارائه شده است. تعیین این توابع، مدیریت صحیح مصرف آب و کود نیتروژن را در سویا نشان می‌دهد. پژوهشگران گزارش کردند که ارقام مختلف سویا در مقابل مقدار مشخصی از آب، واکنش یکسانی ندارند و در نتیجه کارایی مصرف آب متفاوت خواهد بود (Kiani and Raeisi et al., 2013؛ Garcia et al., 2010). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که روند تغییرات عملکرد ارقام سویا نسبت به‌آب مصرفی افزایشی است، ولی شیب آن‌ها کاهشی است. به‌عبارت دیگر مقدار افزایش عملکرد در بازه‌های مساوی افزایش آب مصرفی یکسان نیست و بتدریج کاهش می‌یابد (Kiani and Raeisi et al., 2013).

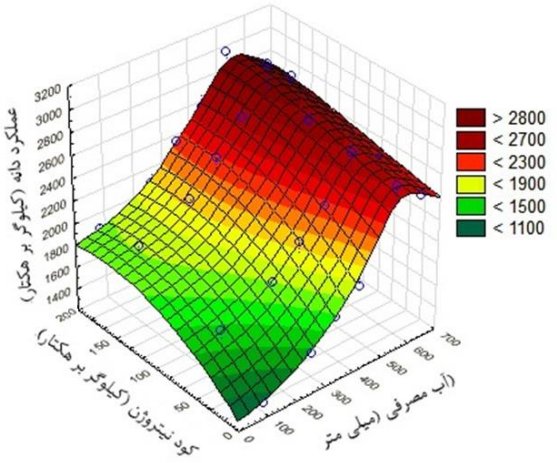
نتیجه‌گیری

مدیریت مصرف آب و کود نیتروژن در راستای افزایش بهره‌وری مصرف آب و کاربرد صحیح کود نیتروژن امری ضروری است. آن‌چه که در کم‌آبیاری همراه با مقادیر نیتروژن مورد توجه قرار می‌گیرد، استفاده بهینه از آب و نیتروژن به‌صورت دوجانبه است. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیکی، غلاف و دانه در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. در تیمارهایی که تحت شرایط کمبود آب بودند، مصرف کود نیتروژن تا سقف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند. با روند صعودی مصرف کود نیتروژن، میزان عملکرد کاهش یافت و در صورتی‌که آب به‌قدر کافی موجود نباشد، افزایش مصرف کود نیتروژن باعث تشدید اثر تنش رطوبتی شده و در نتیجه عملکرد گیاه کاهش می‌یابد، از این‌رو در شرایط کمبود آب، مصرف بیش از حد کود نیتروژن قابل توصیه نیست. به‌طور کلی و با توجه به نتایج، آبیاری کامل و مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

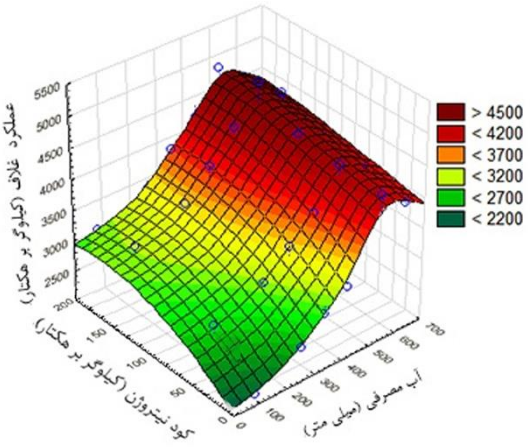
جدول ۶. معادلات تابع تولید عملکرد- آب مصرفی- کود در سال‌های مورد مطالعه

صفات مورد بررسی	$S_{td}E_{rror}$	R^2_{adj}	R^2	معادلات توابع تولید
Y_{seed}-WU-F	۱۰۸/۷	۰/۶۷	۰/۶۸	$Y=۱۱۴۹/۲۰۶+۲/۰۴۰۳WU+۱۰/۳۱۷۴F+۰/۰۰۰۳WU^۲-۰/۰۰۲۷F\times WU-۰/۰۴۵F^۲$
Y_{pod}-WU-F	۱۵۹/۶	۰/۷۳	۰/۷۴	$Y=۱۸۸۲/۲۵۵۹+۳/۲۸۶WU+۱۶/۴۶۵۸F+۰/۰۰۰۵WU^۲-۰/۰۰۴۵F\times WU-۰/۰۷۰۹F^۲$
Y_{bio}-WU-F	۲۱۷/۷	۰/۷۳	۰/۷۴	$Y=۲۹۹۳/۱۱۳+۴/۹۳۴۶WU+۲۱/۲۳۵F-۰/۰۰۰۳WU^۲-۰/۰۰۸۱F\times WU-۰/۰۷۸۴F^۲$

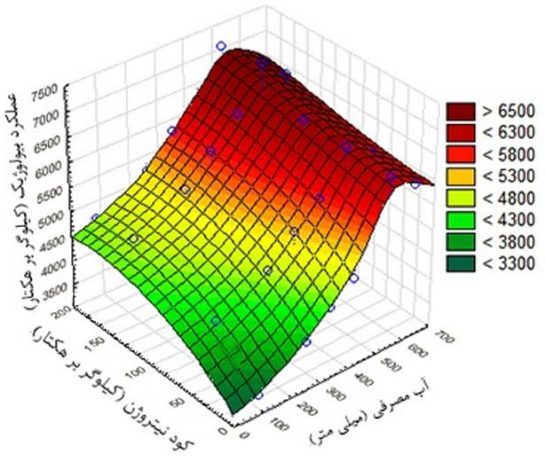
Y_{seed}، Y_{pod}، Y_{bio}، $S_{td}E_{rror}$، R^2_{adj}، R^2، WU و F به ترتیب عملکرد بیولوژیکی، غلاف، دانه (کیلوگرم بر هکتار)، خطای استاندارد، ضریب تعیین تعدیل شده، ضریب تعیین، مقدار آب مصرفی (میلی‌متر) و کود مصرفی (کیلوگرم نیتروژن بر هکتار).



شکل ۲. نمودار آب مصرفی- کود نیتروژن- عملکرد دانه در سویا



شکل ۳. نمودار آب مصرفی- کود نیتروژن- عملکرد غلاف در سویا



شکل ۴. نمودار آب مصرفی- کود نیتروژن- عملکرد بیولوژیک در سویا

Reference:

Abdzad Gohari, A. (2021). Investigations of yield, production function and water productivity of two Peanut cultivars under conditions deficit irrigation in different irrigation methods. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 467-482. [in Persian]

Abedi, Z., Najafi Zarrini, H., Emadi, S.M., & Bagheri, N.A. (2019). Evaluation of Relationship between Agronomical and Physiological Traits of Soybean and Grouping of Soybean Genotypes under Different Amount of Sulfur Application. Journal of Crop Breeding, 11(29), 134-142. [in Persian]

Ahmadi, H., Nasrolahi, A.H., Sharifipour, M., & Isvand, H. (2018). Determination of soybean water stress index (CWSI) for irrigation management for maximum yield and water productivity. Journal of Irrigation and Water Engineering, 8(4) 32, 121-131. [in Persian]

Akbari, D. (2012). Effect of Drought Stress at Different Growth Stages on Soybean Yield and Water Use Efficiency in Mazandaran. Agricultural Science and Sustainable Production, 22(1), 13-23. [in Persian]

Aminifar, J., Biglouei, M.H., Mohsenabadi G.R., & Samiezadeh, H. (2011). Effect of deficit irrigation on quantitative and qualitative yield of soybean cultivars in Rasht region. Electronic Journal of Crop Production, 5(2), 93-109. [in Persian]

Angadi, S.V., Cufprth., H.W. , Mc Conkey, B.B. & Gan, Y. (2003). Yield adjustment by canola grown at different plant population under semiarid conditions. Crop Science, 43, 1358-1360.

Asadi, L., Khoshravesh, M., Masoud Pourgholam, M., Liaghat, A. & Youri, M.R. (2018).Estimation of soybean water-nitrogen production function. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(3), 665-672. [in Persian]

Azad Bakht, M., & Ghajarjezi, A. (2018). Soybean Yield Prediction Using Artificial Neural Network (ANN) as Function of Nitrogen Fertilizer and Plant Density. Journal of Crop Production, 11(2), 63-76. [in Persian]

Babazadeh, H., & Sarai Tabrizi, M. (2012). Assessment of AquaCrop Model under Soybean Deficit Irrigation Management Conditions. Journal of Water and Soil, 26(2), 329-339. [in Persian]

Babazadeh, H., & Sarai Tabrizi, M. (2013). Calibration of SWAP Model for Simulating Crop Yield, Biological Yield and Soybean Water Use Efficiency. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 35(4), 83-96. [in Persian]

Bender, R.R., Haegele, J.W., & Below, F.E. (2015). Nutrient uptake partitioning and remobilization in modern soybean varieties. Agronomy Joutnal, 107, 563-571.

Caliskan, S., Ozkaya, I., Caliskan, M.E., & Arslan, M. (2008). Effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a mediterranean-type soil. Field Crops Research, 108(2), 126–132.

Daneshian, J., Hadi H., & Jonoubi, P. (2009). Study of quantitative and quality characteristics of soybean genotypes in deficit irrigation conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 11 (4), 393-409. [in Persian]

Das, H.P. (2003). Water use efficiency of soybean and its yield response to evapotranspiration and rainfall. Journal of Agricultural Physics, 3(1), 35-39.

Demirtas, C., Yazgan, S., Candogan, B. N., Sincik, M., Büyükcangaz, H., & Göksoy, A.T. (2010). Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to drought stress in sub-humid environment. African Journal of Biotechnology, 9(41), 6873-6881.

Faraji, A. (2014). Evaluation the response of soybean (*Glycin Max* L.) genotypes to drought stress. Journal of Crop Breeding, 6(14), 27-40. [in Persian]

Garcia, A., Persson, T., Guerra, L.C., & Hoogenboom, G. (2010). Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. Agricultural Water Management, 97, 981-987.

Gaspar, A.P., Laboski, C.A.M., Naeve, S.L., & Conley, S.P. (2017). Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. Crop Science, 57, 2170-2182.

Gavili, E., Moosavi, A., & Kamgar Haghighi, A.A. (2019). Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? Industrial Crops and Products, 128, 445-454.

Greaves, G. & Wang, Y. (2017). Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. Plant Production Science, 36, 1-13.

Heidarzade, A., Esmaeili, M. A., Bahmanyar, M. A., & Abbasi, R. (2016). Response of soybean (*Glycine max*) to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 4 (1), 37-46.

Islam, M. M., Ishibashi, Y. & Nakagawa, A.C. (2017). Nitrogen manipulation affects leaf senescence during late seed fllingin soybean. Acta Physiologiae Plantarum, 39 (1), 25-39.

Karam, F., Karaa, K., & Tarabey, N. (2005). Effects of deficit irrigation on yield and water use efficiency of some crops under semi-arid conditions of the Bekaa valley of Lebanon. , Amman, Jordan, 2 (1), 139-155.

Lack, Sh., Dashti, H., & Abadooz, GH. (2021). Assessment of water consumption and planting pattern on edaphic soil properties and grain yields of corn in Khuzestan province. Journal of plant ecophysiology. 8(27), 114-126. [in Persian]

LaMenza, N. C., Monzon, J. P., Specht, J. E., & Grassini, P. (2017). Is soybean yield limited by nitrogen supply? Field Crops Research, 213, 204-212.

Majidian, M., & Ghadiri, H. (2002). The effect of moisture stress and different amounts of nitrogen fertilizer in different stages of growth on the yield of yield components, water use efficiency and some physiological characteristics of corn plants. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 33(3), 492-499. [in Persian]

Maleki, A., Naderi, A., Siadat, S.A., Tahmasabi, A. & Fazel, S.H. (2012). The effect of drought stress in different phenological stages on soybean yield and yield components. Research in agricultural sciences, 4(15), 82-71. [in Persian]

Omidi, F., Saraei Tabrizi, M. & Roshani, O. (2014). Product production functions under conditions of drought steress, salinity, nutrients and water logged. The first national conference on water crisis, Islamic Azad University of Khorasgan (Isfahan). May 15 and 16, 14 p. [in Persian]

Rafiei, AH., Aghaalikhani, M., & Modares sanavi, S. (2014). Soybean Response to Nitrogen Application Rates in Conventional, Organic and Integrated Fertilizing System. Agricultural Science and Sustainable Production, 24 (2), 1-18. [in Persian]

Rostami Ajirloo, Asgharipour, A., Ghanbari, A., Joudi, M. & Khoramivafa, M. (2016). The reaction of yield, yield components, morphological and quality traits of soybean varieties to cutting irrigation in different growth stages. Applied Research of Plant Ecophysiology, 3(1), 1-16. [in Persian]

Rostami Ajirloo, Asgharipour, A., Ghanbari, A., Joudi, M., & Khoramivafa, M. (2017). Study the effect of deficit irrigation on yield, quality characteristics and water use efficiency of three cultivars of soybean in Moghan plain. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 7, 113-125. [in Persian]

Shams Beyranvand, M., Boroumand Nasab, S., Maleki, A., & Daneshvar, M. (2015). Effect of Deficit Irrigation on Seed Yield and Some Qualitative Characters of Soybean Cultivars in Khorramabad. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 38(3), 13-21

Sincik, M., Candogan, B.N., Demirtas, C., Büyükcangaz, H., Yazgan, S. & Goksoy, A.T. (2008). Deficit irrigation of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a sub-humid climate. Agronomy and Crop Science, 194, 200-205.

Tafteh, A., Nakhjavani, Moghadam M.M., Egdernezhad, A., & Sepehri, S. (2020). Evaluation of Production Functions in Estimating Two Varieties of Corn Yield with Native Yield Response Factor in the Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(10), 2519-2529. [in Persian]

Talebzadeh, S.J., Hashem, H., Amirni, R., Tajbakhsh, M., & Rezaei Morad Ali, M. (2018). Evaluating the Relationship between Distributions of Photosynthetic Assimilates Related Traits and Grain Yield in Wheat Genotypes under Terminal Drought Stress Conditions. Journal of Crop Breeding. 9(24), 10-21. [in Persian]

Tohidi, M. (2017). Improvement of Soybean (*Glycine max* L.) Yield with Urea Foliar Application at Growth Stages. Journal of Crop Ecophysiology, 11, 42(2), 345-362. [in Persian]

Vahdi, N., Gholinezhad, E., Mansourifar, S., Geyrati Arani, L. & Rahimi, M. (2019).Effect of Water Stress on Yield and Yield Components of Three Soybean Cultivars. Plant production Technology, 11(1), 103-113. [in Persian]

Wright, G.C. (1996). Selection for water-use efficiency in grain legume species. 554-557, In: Michalk, D.L. and J.E. Dratley (eds.), Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference, Toowoomba, Australia.

Yahyaei, S.G.R. (2007). The effect of irrigation regimes on yield and grain yield components of limited growth and unlimited growth soybean cultivars. Agricultural sciences and natural resources, 14(5), 124-134. [in Persian]

Yousefi, S. Pakenjad, F., & Ilkai, M. (2011). The effect of irrigation management and nitrogen fertilization on soybean plant yield and yield. The first national conference on new topics in agriculture, 25-32. [in Persian]