

Effect of Nano-Iron Fertilizer and Magnetized Water on Soybean Grain Yield and Water Productivity in Drip Irrigation

MEYSAM ABEDINPOUR^{1*}, EBRAHIM ROHANI²

1. Assistant Professor, Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran
 2. Lecturer and Lab expert, Water Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran
- (Received: Jan. 13, 2018- Revised: May. 4, 2018- Accepted: Aug. 11, 2018)

ABSTRACT

Shortage of water resources, development of drip irrigation (T-Tape) method in the arid and semi-arid regions, enhancement of Nano fertilizer application in agriculture, the effect of magnetic water on yield and water use efficiency for crops led to carry out a research for this purpose. Therefore, the present study investigates the possibility of increasing yield and water productivity of soybean crop using drip irrigation (T-Tape) with Ferro-iron fertilizer under magnetic and non-magnetic conditions in a complete randomized block design with three replications in the Kashmar city, East of Iran during 2016. Main treatments consisted of two types of magnetic (M_1) and non-magnetic water (M_2) and sub-treatments including four levels of Nano-iron fertilizer (0 or no fertilizer: N_1 ; 0.2: N_2 ; 0.4: N_3 and 0.6: N_4 g/liter per unit area). The results showed that the effect of Nano-iron fertilizer and magnetized water on grain yield, biomass and water use efficiency were significant at 5% level. Although, the interaction effect of magnetic water and nano-iron fertilizer was not significant on crop properties. Irrigation with magnetized water and Nano-iron fertilizer at 0.6 $glit^{-1}m^{-2}$ increased the grain yield (with the production of 3670 kg/ha) 25% as compared to the control treatment. The lowest grain yield was obtained in non-fertilizer and non-magnetic water treatment with the production of 2.565 kg/ha. The water use efficiency of soybean was varied from 0.49 to 0.71 kg/m^3 , which were corresponded to M_2N_1 and M_1N_4 treatments, respectively.

Keywords: Magnetized water, Nano-Iron fertilizer, Soybean, T-Tape

اثر کود نانواهن و آب مغناطیسی بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب سویا در روش آبیاری قطره‌ای

میثم عابدین پور^{۱*}، ابراهیم روحانی^۲

۱. استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران
 ۲. مدرس و کارشناس آزمایشگاه، گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۲۰)

چکیده

کمبود منابع آب و گسترش استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای از نوع نوارهای تیپ در مناطق کم‌آب از یک طرف و روند توسعه کاربرد کودهای نانو در کشاورزی و بررسی اثر آب مغناطیس بر عملکرد و کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی از سوی دیگر منجر به پژوهشی بدین منظور گردید. از این رو تحقیق حاضر، امکان افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه سویا را با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای (نوار تیپ) همراه با کود نانواهن در شرایط آبیاری با آب مغناطیس و غیرمغناطیس بررسی می‌نماید. این طرح بصورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در قطعه زمینی به مساحت ۱۵۰ متر مربع واقع در مرکز آموزش عالی کاشمر و در سال زراعی ۱۳۹۵ انجام گردید. تیمارهای اصلی شامل دو نوع آب؛ مغناطیسی (M_1) و غیرمغناطیسی (M_2) و تیمارهای فرعی شامل چهار سطح کود نانواهن با مقادیر $(N_1:0)$ بدون محلول پاشی، $(N_2:0/2)$ ، $(N_3:0/4)$ و $(N_4:0/6)$ گرم در لیتر در واحد سطح بود. نتایج نشان داد که اثر کود نانواهن و آب مغناطیسی بر عملکرد دانه، زی‌توده و کارایی مصرف آب سویا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اگرچه اثر متقابل آب مغناطیسی و کود نانواهن بر صفات اندازه‌گیری شده غیر معنی‌دار بود. آبیاری با آب مغناطیس و محلول‌پاشی کود نانواهن به میزان $0/6 \text{ g/lit/m}^2$ عملکرد دانه سویا را با تولید $3/670$ تن در هکتار به میزان ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. همچنین کمترین میزان عملکرد دانه نیز در تیمار بدون کود نانواهن و در شرایط بدون مغناطیس با تولید $2/565$ تن در هکتار حاصل گردید. مقدار کارایی مصرف آب در محدوده $0/71$ تا $0/49$ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب در تیمارهای M_1N_4 و M_2N_1 متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، نانواهن، سویا، آبیاری تیپ

مقدمه

می‌باشد، معرفی کرده است. نگرانی‌های مربوط به کارایی کم کودهای مرسوم (حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد)، مصرف بیش از اندازه، تخریب محیط زیست و منابع طبیعی، ضرورت کاربرد نانوفناوری برای تحقیقات و جایگزینی این کودها را آشکار می‌کند (DeRosa, et al., 2010). در بین عناصر مختلف مورد نیاز گیاهان، آهن یکی از عناصر ضروری و مهم برای رشد گیاه است و نقش بسیار مهمی در فرآیند فتوسنتز ایفا می‌کند. آهن آنزیم‌های مختلفی را فعال می‌کند و برای سنتز کلروفیل مورد نیاز است (Peyvandi, et al., 2011).

در تحقیقی اثر کود نانو اکسید آهن بر خصوصیات زراعی گیاه سویا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که با کاربرد کود نانو اکسید آهن به مقدار $0/5$ گرم بر لیتر، عملکرد دانه سویا ۴۸ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون کود) افزایش یافت (Sheykhbaglou, et al., 2010). نتایج تحقیقات (Sheykhbaglou, et al., 2010) نشان داد که محلول‌پاشی با نانو اکسید آهن ۹۴ درصد از تغییرات مربوط به طول دانه سویا را توجیه می‌کند. بطوری که بیشترین طول دانه مربوط به تیمار

فناوری نانو به عنوان یک تکنولوژی کاربردی در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و به عنوان یک فناوری بین رشته‌ای و پیش‌تاز، مشکلات و کمبودهای بسیاری را در عرصه‌های علمی و صنعتی رفع و به خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته آن به اثبات رسانیده است. این فناوری کاربردهای وسیعی در همه مراحل تولید، فرآوری، نگهداری، بسته‌بندی و انتقال تولیدات کشاورزی دارد (Scott and Chen, 2003). نانو کودها می‌توانند یک نوآوری بزرگ برای کشاورزی بشمار آیند. کاربرد نانو فناوری در زمینه کشاورزی پایدار، تولید محصولات کشاورزی را با کیفیت و کمیت مناسب بدون آسیب‌زدن به محیط زیست برای همیشه رقم زده و آن را به عنوان یکی از روش‌های نویدبخش برای افزایش قابل توجه تولید غذای مورد نیاز جمعیت جهان که به سرعت در حال رشد

* نویسنده مسئول: abedinpour_meysam@yahoo.com

شود اما مغناطیسی کردن بذرها تاثیر معنی داری بر افزایش جوانه زنی نداشت (Ijaz *et al.*, 2012).

Maleki *et al.*, (2015) تاثیر میدان الکترومغناطیسی و امواج فراصوت را بر میزان جوانه زنی بذر زیره سبز مورد بررسی قرار دادند. آن ها دریافتند که اثر متقابل میدان الکترومغناطیسی و زمان بر درصد و سرعت جوانه زنی، میانگین مدت جوانه زنی، وزن خشک ریشه چه و ساقه چه و نسبت وزن و طول ریشه چه به ساقه چه معنی دار بود. (Sadeghipour and Aghaei, 2014) اثر تنش خشکی و کاربرد آب مغناطیسی را بر عملکرد ماش مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که آبیاری با آب مغناطیسی در هر دو شرایط عدم تنش و وجود تنش موجب افزایش صفات اندازه گیری شده گردید. در پژوهشی اثر کاربرد آب مغناطیسی بر روی جوانه زنی بذر ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیر مغناطیسی جوانه زنی بذر ذرت را بهبود می بخشد (Mahmood and Usman, 2014). نتایج تحقیق (Ghadami Firoozabady *et al.*, 2016) نشان داد که کاربرد آب مغناطیسی باعث افزایش ۱۰/۸۶ درصدی مقدار عملکرد دانه گیاه سویا در تیمارهای مختلف شوری شده است. همچنین بیشترین افزایش عملکرد گیاه در تیمار آب مغناطیسی در شوری ۰/۷ (dS/m) و کمترین آن در شرایط بدون مغناطیس و در شوری آب آبیاری ۱۰ (dS/m) حاصل شد. در تحقیقی اثر آب مغناطیسی بر روی شاخص های رشدی گیاه ذرت دانه ای تحت مقادیر مختلف شوری بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد استفاده از فناوری آب مغناطیسی باعث بهبود شاخص های رشد گیاه ذرت گردید (Abedinpour and Rohani, 2017). با توجه به مطالب فوق اهداف این تحقیق به شرح زیر می باشند.

- ۱- بررسی امکان افزایش عملکرد دانه، زی توده و کارایی مصرف آب گیاه سویا تحت آبیاری با آب مغناطیسی در مقایسه با آب معمولی در وضعیت اقلیمی کاشمر
- ۲- بررسی تاثیر کاربرد کود نانو آهن و اثر متقابل آن با آب مغناطیس بر افزایش عملکرد دانه، زی توده و کارایی مصرف آب گیاه سویا

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی محل آزمایش

مزرعه تحقیقاتی مرکز آموزش عالی کاشمر در قسمت شمال شهرستان کاشمر با طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲۴/۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه و ۳ ثانیه شمالی واقع و ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد ۱۰۹۶ متر

۰/۵ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن بود که با سطوح دیگر نانو اکسید آهن و تیمار شاهد اختلاف معنی داری داشت. نتایج تاثیر نانو کلات آهن بر پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان ریحان نشان داد که پارامترهای رشد در گیاهانی که در معرض تیمار کود آهن و نانو کود آهن بودند، نسبت به شاهد افزایش یافته است (Peyvandi *et al.*, 2011). (Tosi *et al.*, 2013) در آزمایشی به بررسی اثر محلول پاشی نانو کلات آهن و آب مغناطیسی بر میزان پروتئین و ترکیب اسیدهای چرب روغن سویا در زمان های مختلف برداشت پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که محلول پاشی نانو کلات آهن و زمان برداشت دوم (زرد شدن بیش از ۹۵ درصد غلافها) باعث افزایش کمیت و کیفیت محصول سویا می گردد. بنابراین، افزایش درصد کاربرد نانو ذرات آهن سبب افزایش سطح ویژه نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی و امکان برخورد بیشتر بین عناصر و نانو ذرات می شود و در نتیجه درصد کاهش عناصر قابل جذب افزایش می یابد (Emadi and Bahmanyar, 2017).

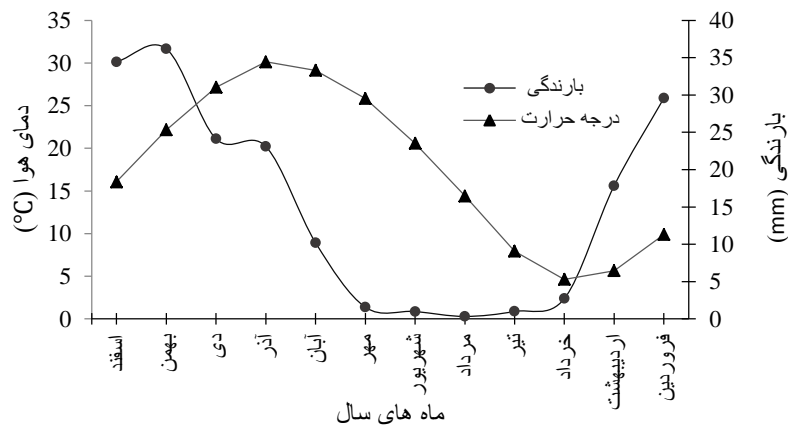
یکی از روش های مدیریتی برای افزایش جذب عناصر توسط گیاه و کارایی مصرف آب استفاده از میدان مغناطیسی قبل از عبور دادن آب و نفوذ آب به خاک می باشد. بر اثر کاربرد آب مغناطیسی، برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آب از جمله، هدایت الکتریکی، pH، حلالیت پذیری، پیوندهای هیدروژنی و چگالی تغییر کرده، بطوری که این تغییرات می تواند رشد گیاهان را نیز تحت تاثیر قرار دهد. هنگام عبور آب از یک میدان مغناطیسی باندهای هیدروژنی تغییر کرده یا از هم جدا می شوند و این جدا شدن مستلزم جذب انرژی بوده که باعث کاهش میزان ارتباط باندهای آب و افزایش هدایت الکتریکی می شود که در نتیجه باعث حل شدن بلورهای نمک و شکستن آنها به کوچکترین جزء و سهولت نفوذ آنها به اعماق خاک و همچنین بافتهای گیاهی می شود. آزمایش های متعددی در خصوص اثرات آب مغناطیس بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف انجام شده است. در این راستا، (Sadeghi, 2009) دریافت که اثر آب مغناطیسی با شدت میدان های مغناطیسی ۴، ۵ و ۶ هزار گوس بر گیاهان کلزا و کتان باعث افزایش عملکرد این تیمارها نسبت به تیمار شاهد (بدون مغناطیس) شد. (Hozayn and Abdul Qados, 2010) گزارش کردند که میدان مغناطیسی خصوصیات زیادی از گیاه شامل جوانه زنی، سرعت رشد گیاهچه، سرعت رشد ریشه و عملکرد را تحت تاثیر قرار می دهد. در آزمایشی اثر همزمان آب مغناطیسی و مغناطیس کردن بذرها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که استفاده از آب مغناطیسی می تواند سبب افزایش ۱۳ درصدی جوانه زنی

حرارت ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به نمودار آمبروترمیک منطقه (شکل ۱) از اواخر اردیبهشت ماه تا دی ماه جزء ماه‌های خشک شهرستان کاشمر محسوب می‌شود. بنابراین شهرستان کاشمر هشت ماه از سال کمبود بارش داشته و آب و هوایی خشک را تجربه می‌کند. جدول (۱) اطلاعات هواشناسی منطقه در طول دوره پژوهش (اردیبهشت تا مهر ۱۳۹۵) را نشان می‌دهد.

است. مزرعه تحقیقاتی مرکز در حال حاضر با مساحت ۵۰۰۰ مترمربع در فاصله ۱ کیلومتری از سایت مرکز و ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان واقع شده است. آزمایشگاه آب و خاک این مرکز در فاصله ۵۰۰ متری از مزرعه قرار دارد.

هواشناسی منطقه

بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن اقلیم منطقه خشک و نیمه خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۲۱۰ میلی‌متر، متوسط سالانه حداکثر درجه حرارت ۲۲/۵ و متوسط سالانه حداقل درجه



شکل ۱. منحنی آمبروترمیک شهرستان کاشمر (۱۳۶۸-۱۳۹۵)

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی منطقه در طول دوره پژوهش

ماه	متوسط دما (°C)	متوسط رطوبت نسبی (%)	مجموع بارندگی (mm)
اردیبهشت	۲۳/۴	۲۹	۶/۶
خرداد	۲۶/۱	۲۷	۱/۹
تیر	۲۸/۸	۲۴	۰
مرداد	۳۰/۴	۲۳	۰
شهریور	۲۷/۷	۲۸	۰
مهر	۲۴/۴	۳۰	۳/۵

شامل چهار سطح ۰، ۲، ۴، ۶ گرم در لیتر در مترمربع بود. برخی از خصوصیات شیمیایی، فیزیکی خاک و آب آبیاری مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های (۲، ۳ و ۴) ارائه شده است. قطعه زمین مورد مطالعه در ابتدای فروردین ماه شخم و تسطیح شد. قبل از کشت به میزان ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار به هر کرت کود NPK (نیترژن-فسفر-پتاسیم) اضافه شد. سپس در پنجم اردیبهشت ماه بذر سویا رقم DPX در فواصل ۴۰ سانتی‌متری بین ردیف و ۲۰ سانتی‌متری روی ردیف‌ها در عمق ۳ سانتی‌متری کشت شد. تعداد سه ردیف کشت در یک نوار به طول ۸ متر و عرض ۱/۵ متر در نظر گرفته شد.

عملیات زراعی

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر آب مغناطیس و سطوح مختلف کود نانواهن به روش آبیاری قطره‌ای یا نواری تیپ بر عملکرد سویا در مرکز آموزش عالی کاشمر در سال زراعی ۱۳۹۵ انجام شد. این آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با دو فاکتور نوع آب آبیاری به عنوان عامل اصلی و مقادیر مختلف کود نانواهن به عنوان عامل فرعی در سه تکرار انجام شد. تیمار اصلی شامل دو سطح آب مغناطیسی M₁ و بدون مغناطیسی M₂ و مقادیر کود نانواهن

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی خاک مورد آزمایش (۳۰-۰) سانتی متر

اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن کل	میلی گرم در کیلوگرم (mg/kg)	هدایت الکتریکی (dS/m)
pH	(%)	(%)	فسفر	پتاسیم
۷/۳۰	۰/۲۷	۰/۰۲	۱۱/۵	۲۶۵

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی خاک مورد آزمایش

عمق خاک (Cm)	بافت خاک (درصد)			درصد رطوبت	هدایت هیدرولیکی K _s (mm/hr)
	رس	سیلت	شن		
۰-۲۰	۱۹	۶۰	۲۱	۲۵/۰۹	۱۳/۰۷
۲۰-۴۰	۱۷	۶۲	۲۱	۲۵/۲۶	۱۳/۱۵
۴۰-۶۰	۱۹	۵۹	۲۲	۲۵/۳۱	۱۴/۰۷

لوم

نقطه پژمردگی دائم: PWP، ظرفیت زراعی خاک: FC

جدول ۴. برخی از خصوصیات آب آبیاری در شرایط مغناطیس (M₁) و غیر مغناطیس (M₂)

EC (ds/m)		pH		N (mg/lit)		P (mg/lit)		K (mg/lit)		Ca (mg/lit)		Mg (mg/lit)	
M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁
۰/۵۱	۰/۵۱	۷/۱	۶/۹	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۲/۱	۲/۱	۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۷۸

آب مغناطیسی از ۶ عدد آهنربای نئودیمیوم- آهن-بورن با ابعاد ۱×۲×۴ سانتی متر با قدرت ۱۵۰۰ میلی تسلا که در پیرامون لوله- ای فلزی به قطر ۳۲ میلی متر و در طول ۳۰ متر نصب شده بود استفاده شد.

کارایی مصرف آب (WUE)

بنا به تعریف، نسبت عملکرد ماده خشک به مقدار آب مصرفی گیاه را کارایی یا بهره وری مصرف آب گویند. در واقع کارایی مصرف آب نشان دهنده مقدار ماده خشک تولید شده به ازای کاربرد مقدار مشخصی از آب می باشد و از رابطه (۲) بدست می آید:

$$WUE = \frac{Y}{WU} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

بطوری که :

Y : عملکرد دانه، (Kg/ha)

WU : مقدار آب مصرفی توسط گیاه، (mm)

WUE : کارایی مصرف آب، (Kg/mm/ha)

شاخص برداشت (HI)

شاخص برداشت نسبت عملکرد اقتصادی (دانه) به کل ماده خشک تولید شده (عملکرد بیولوژیک) می باشد و از رابطه (۳) تعیین می گردد.

روش آبیاری بصورت نوارهای قطره ای تیپ با فواصل روزانه ای ۲۰ سانتی متری با دبی هر روزنه به میزان ۱/۵ لیتر در ساعت طراحی و اجرا گردید. به ازای هر ردیف کشت یک نوار تیپ به طول ۸ متر در نظر گرفته شد. فشار مورد نیاز سیستم آبیاری توسط پمپ WKL 32/3 تامین شد. فشار مورد نیاز نوارها توسط شیرفلکه در محدوده ۱۰۰ کیلوپاسکال (۱ بار) تنظیم گردید، بطوری که با توجه به طول کوتاه نوارها افت فشار بسیار ناچیز در نوارها مشاهده گردید. مقدار آب ورودی در طول دوره- ی رشد گیاه توسط کنتور حجمی و فشار توسط شیر فلکه فشارسنج قابل حمل کنترل گردید. مقدار آب آبیاری ها برای هر ردیف از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_i) \times D_{rz} \quad (\text{رابطه } ۱)$$

بطوری که :

SMD : نقصان رطوبتی خاک، میلی متر

θ_{FC} : رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی، درصد

θ_i : درصد رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری

D_{rz} : عمق ریشه گیاه، میلی متر

پایش رطوبت خاک قبل از هر آبیاری توسط دستگاه رطوبت سنج مدل PMS-714 که قبل از آزمایش با روش تعیین رطوبت وزنی خاک واسنجی گردید، صورت پذیرفت. برای تولید

نتایج و بحث

عملکرد دانه و زی توده‌ی سویا

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود نانوآهن و مغناطیس بر عملکرد دانه، زی توده و کارایی مصرف آب سویا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). حداکثر عملکرد دانه و زی توده سویا در تیمار آب مغناطیس و کود نانوآهن ۰/۶ گرم بر لیتر به ترتیب به مقدار ۳۶۷۰ و ۸۴۹۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. کمترین عملکرد دانه و زی توده در تیمار بدون مغناطیس و بدون کود نانو به ترتیب ۲۵۶۵ و ۶۰۷۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. همچنین بیشترین کارایی مصرف آب سویا به مقدار ۷/۰۶ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلیمتر عمق آب آبیاری و در تیمار آب مغناطیس و محلول پاشی ۰/۶ گرم در لیتر در واحد سطح بدست آمد.

$$HI = \frac{Y}{Biomass} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن:

Y: عملکرد دانه، (Kg/ha)

Biomass: عملکرد بیولوژیک (Kg/ha)

عملیات داشت در طول دوره‌ی رشد گیاه شامل کوددهی و وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام پذیرفت. مقادیر مختلف کود نانو با دوز مشخص پس از انحلال در آب به عنوان تیمار فرعی به وزن ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ گرم بر لیتر بصورت محلول‌پاشی در سراسر بوته‌ها انجام شد. پس از پایان فصل رشد در تاریخ ۹۵/۰۸/۵ ردیف وسط از هر کرت آزمایش و به مقدار ۲۵ بوته برداشت و برای اندازه‌گیری وزن زی توده و دانه سویا به آزمایشگاه منتقل گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون دانکن استفاده انجام شد.

جدول ۵. مقایسه میانگین مربعات و سطح معنی‌دار بودن عملکرد دانه، زی توده و کارایی مصرف آب سویا در تیمارهای آزمایشی

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	میانگین مربعات
	df	زی توده	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	^{ns} ۵۰۸۱۴۶/۵	^{ns} ۱۸۵
کود نانو (N)	۳	۸۸۶۱۴۱/۷۰۸*	۳/۳۶۲*
خطای N	۶	۴۲۶۴۰/۰۴۲	۰/۴۲۸
مغناطیس (M)	۱	۴۲۶۴۰/۰۴۲*	^{ns} ۱/۶۴۹
خطای M	۱۲	۶۴۷۹۵/۱۷۸	۰/۵۶۴
N*M	۳	۳۹۸۴۱۵/۲۳ ^{ns}	^{ns} ۱/۶۷
ضریب تغییرات (CV) %		۷/۳۴	۲/۵۷

*، ** و ^{ns} به ترتیب نشان دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

۰/۴ و ۰/۶ گرم در لیتر در متر مربع به ترتیب ۸/۷ و ۸/۲۵ درصد بود. (Ghadami Firozabady, et al., 2016) اثر آب مغناطیس در شرایط کم آبیاری و شوری را بر عملکرد دانه، زی توده گیاه سویا رقم DPX مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مقدار عملکرد دانه، زی توده و درصد روغن و پروتئین سویا در تیمار آب مغناطیس شده بیشتر از آب غیر مغناطیسی است. بطوری که اثر آب مغناطیس به طور متوسط باعث افزایش ۱۰/۷۷ درصد در عملکرد دانه و افزایش ۱۱/۳۱ درصد زی توده نسبت به آب غیر مغناطیس شده است. همچنین (Tosi, et al., 2013) اثر محلول‌پاشی نانو کلات آهن، کود نیتروژن خالص (۵ در هزار اوره)، کمپوست زباله شهری، کود حیوانی کادوستیم، آمینول فورته و آبیاری با آب مغناطیسی را در زمان‌های مختلف بر عملکرد دانه و پروتئین سویا بررسی نمودند. بیشترین عملکرد دانه و پروتئین سویا در تحقیق آن‌ها

حداکثر و حداقل ارتفاع بوته‌ها نیز به ترتیب در اثر متقابل $(M_1 \times N_4)$ و $(M_2 \times N_1)$ به میزان ۹۱/۳ و ۵۹/۴ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۶). در تیمار آب مغناطیس نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش مقدار کود نانوآهن از صفر (N_1) به ۰/۲ گرم در لیتر، مقدار عملکرد دانه سویا به میزان ۱۳/۳ درصد افزایش یافت در حالی که این مقدار در تیمار آب غیر مغناطیس ۸/۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد. افزایش عملکرد دانه سویا به میزان ۶/۴ درصد در تیمار آب مغناطیس نسبت به غیرمغناطیس و بدون محلول‌پاشی حاصل گردید.

همچنین افزایش عملکرد دانه سویا به میزان ۱۲/۳ درصد در تیمار آب مغناطیس نسبت به آب غیر مغناطیس در محلول-پاشی کود نانوآهن به میزان ۰/۲ گرم در لیتر در متر مربع حاصل گردید که این مقدار افزایش در تیمار آب مغناطیس نسبت به غیر مغناطیس و محلول‌پاشی کود نانوآهن به میزان

پیوندهای کوالانسی و هیدروژنی بین مولکول‌های آب دانست که نتیجه آن جذب بهتر آب توسط گیاه و حل شدن املاح معدنی بیشتر در آب می‌باشد.

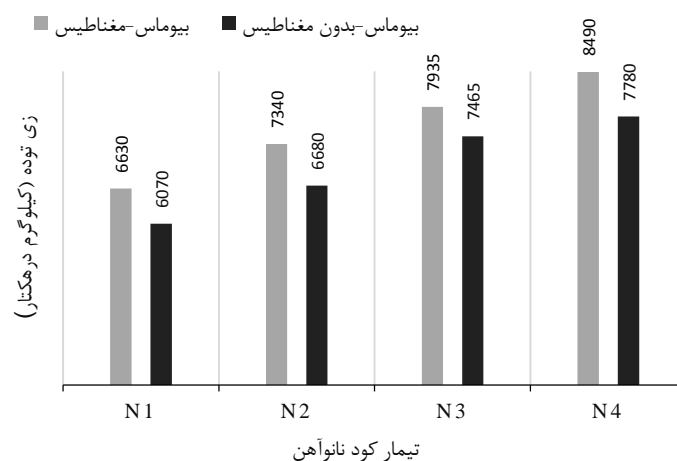
مربوط به تیمار محلول‌پاشی با کود نانو کلات آهن به میزان ۱۲۰۴ و ۳۵۰۴ کیلوگرم در هکتار بود. به طور کلی می‌توان علت افزایش عملکرد دانه در شرایط آب مغناطیسی را کاهش کشش سطحی آب و افزایش حلالیت آب به سبب شکسته شدن

جدول ۶. میانگین مقادیر عملکرد دانه، زی توده، ارتفاع بوته و کارایی مصرف آب گیاه سویا تحت اعمال تیمارهای مختلف

تیمار آب	تیمار کود نانو آهن (g/lit/m ²)	عملکرد دانه (Kg/ha)	زی توده (Kg/ha)	ارتفاع گیاه (Cm)	کارایی مصرف آب (Kg/mm/ha)
آب مغناطیسی (M ₁)	۰N ₁ :	۲۷۳۰	۶۶۳۰	۶۴/۸	۵/۲۵
	۰/۲N ₂ :	۳۱۵۰	۷۳۴۰	۷۶/۸	۶/۰۶
	۰/۴N ₃ :	۳۴۳۵	۷۹۳۵	۸۸/۲	۶/۶۰
	۰/۶N ₄ :	۳۶۷۰	۸۴۹۰	۹۱/۳	۷/۰۶
آب غیرمغناطیسی (M ₂)	۰N ₁ :	۲۵۶۵	۶۰۷۰	۵۹/۴	۴/۸۹
	۰/۲N ₂ :	۲۸۰۵	۶۶۸۰	۶۷/۵	۵/۴۰
	۰/۴N ₃ :	۳۱۶۰	۷۴۶۵	۸۳/۲	۶/۰۸
	۰/۶N ₄ :	۳۳۹۰	۷۷۸۰	۸۷/۲	۶/۵۱

افزایش عملکرد زی توده به میزان ۹/۹ درصد در تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب غیر مغناطیسی در محلول‌پاشی کود نانو آهن به میزان ۰/۲ گرم در لیتر در متر مربع حاصل گردید که این مقدار افزایش در تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب غیر مغناطیسی و محلول‌پاشی کود نانو آهن به میزان ۰/۴ و ۰/۶ گرم در لیتر در متر مربع به ترتیب ۶/۳ و ۹/۱۳ درصد بود (شکل ۲).

شکل (۲) نشان می‌دهد که با افزایش مقدار کود نانو آهن از صفر (N₁) به ۰/۲ (N₂) گرم در لیتر در تیمار آب مغناطیسی عملکرد زی توده سویا به میزان ۱۰/۷۱ درصد و در تیمار آب غیر مغناطیسی ۱۰ درصد افزایش یافت. افزایش عملکرد زی توده سویا به میزان ۹/۲۳ درصد در تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب غیر مغناطیسی و بدون محلول‌پاشی حاصل گردید. همچنین



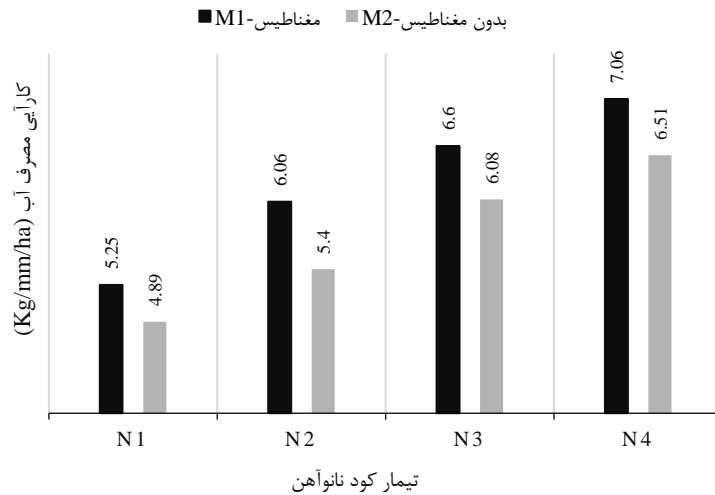
شکل ۲. مقادیر عملکرد دانه و زی توده سویا در تیمارهای مختلف کود نانو آهن در شرایط مغناطیسی و بدون مغناطیس

رشد اندام هوایی و متعاقب آن افزایش عملکرد وزن خشک اندام هوایی می‌گردد (Gardner et al., 2011). می‌توان اظهار داشت که استفاده از این ترکیبات ضمن فراهم نمودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، موجبات افزایش رشد رویشی و تولید زی توده را

با توجه به اینکه آهن یکی از عناصر مهم در واکنش‌های اکسایش - احیاء در گیاهان می‌باشد و باعث افزایش مستقیم رشد و جذب از طریق افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به خارج برگ می‌شود، استفاده از نانو کود کلات آهن موجب افزایش

مورد نیاز دانه‌ها و تعیین‌کننده وزن آن‌ها هستند. این افزایش موجب افزایش تعداد دانه در غلاف‌ها شد. همچنین به علت تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی، وزن دانه‌ها نیز افزایش یافت. نتایج این تحقیق با گزارش (2013) Tosi *et al.*, بر روی گیاه سویا که نشان دادند محلول‌پاشی نانو کلات آهن بیشترین عملکرد دانه سویا را به میزان ۴۰۶۲ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها (کمپوست، کود حیوانی، کود شیمیایی نیتروژن خالص و آب مغناطیس) به خود اختصاص داد، مطابقت دارد. همچنین گزارش‌هایی در خصوص افزایش عملکرد گیاهان مختلف در اثر مصرف نانو کودها ارائه شده است (Feizi *et al.*, 2010; Moaveni and Kheiri, 2011).

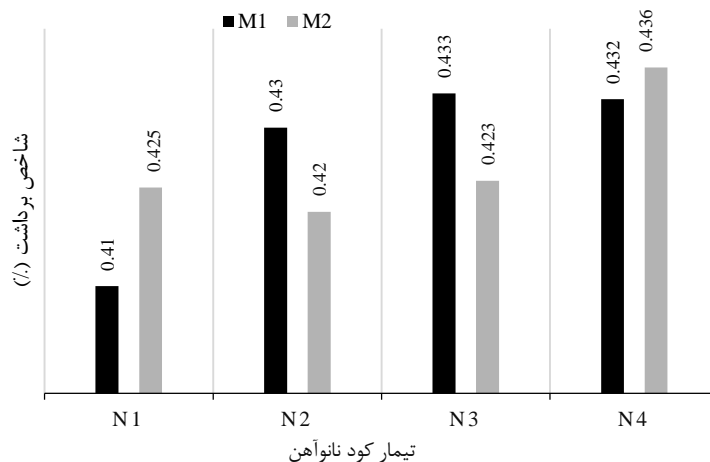
نیز فراهم آورده است. (2002) Amaliotis *et al.*, گزارش کردند که یک رابطه خطی معنی دار بین غلظت آهن و عملکرد گیاه وجود دارد. به طوری که در اثر مصرف آهن، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و رشد رویشی گیاه افزایش یافته و این امر باعث افزایش سطح کربن‌گیری و در نتیجه میزان ماده خشک تولیدی در گیاه می‌شود. محلول‌پاشی نانو کلات آهن با در دسترس قراردادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و به علت کمک به افزایش رشد رویشی، ظرفیت فتوسنتزی، توسعه پوشش گیاهی و افزایش فرایند جذب، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه شد (Monica and Cremonini, 2009) and غلاف‌ها از یک طرف در برگیرنده تعداد دانه‌ها بوده و از طرف دیگر تامین‌کننده مواد فتوسنتزی



شکل ۳. شاخص برداشت سویا در تیمارهای مختلف کود نانوآهن در شرایط مغناطیس و بدون مغناطیس

حداقل میزان کارایی مصرف آب سویا در تیمار بدون کود نانوآهن (N_1) و در شرایط بدون مغناطیس حاصل شد. میزان کارایی مصرف آب در تیمار کود نانوآهن صفر (N_1) در شرایط مغناطیس نسبت به آب بدون مغناطیس، ۶/۸ درصد افزایش را نشان می‌دهد. با توجه به تعریف کارایی مصرف آب (رابطه ۲) با افزایش عملکرد دانه که بر اثر استفاده از کود نانوآهن در شرایط آبیاری با آب مغناطیس حاصل گردید، صورت کسر رابطه افزایش یافته که منجر به افزایش کارایی مصرف آب گردید. در تحقیقی کاربرد کود نانو آهن و دور آبیاری هفت روز در گیاه شوید، باعث ایجاد شرایط مطلوب برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گردید (Gholinezhad, 2018). همچنین با توجه به شکل (۴) شاخص برداشت سویا جز در تیمار N_1 در مابقی تیمارهای کود نانوآهن در شرایط مغناطیس نسبت به غیر مغناطیس افزایش داشت، اما این مقدار افزایش ناچیز بود.

شکل (۳) روند صعودی میزان کارایی مصرف آب سویا را با افزایش مقدار کود نانوآهن نشان می‌دهد. بطوری که با افزایش مقدار کود نانوآهن از صفر (N_1) به ۰/۲ (N_2) گرم در لیتر در تیمار آب مغناطیس، میزان کارایی مصرف آب سویا به میزان ۱۳/۴ درصد افزایش یافت. در حالی که این مقدار در تیمار آب غیر مغناطیس، افزایش ۹/۴ درصد را نشان می‌دهد. همچنین با افزایش مقدار کود نانوآهن از ۰/۲ (N_2) به ۰/۴ (N_3) گرم در لیتر در تیمار آب مغناطیس و بدون مغناطیس، کارایی مصرف آب به ترتیب ۸/۲ و ۱۱/۲ درصد افزایش یافت. با ادامه روند افزایش مقدار کود نانوآهن از ۰/۴ (N_2) به ۰/۶ (N_3) گرم در لیتر، مقدار افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۶/۵ و ۶/۶ درصد به ترتیب در شرایط مغناطیس و بدون مغناطیس حاصل شد. حداکثر کارایی مصرف آب سویا در تیمار ۰/۶ (N_3) گرم در لیتر کود نانوآهن و در شرایط مغناطیس بدست آمد. همچنین



شکل ۴. شاخص برداشت سویا در تیمارهای مختلف کود نانو آهن در شرایط مغناطیسی و بدون مغناطیسی

دانه در تیمار M_2N_1 به ترتیب به میزان ۲۵۶۵ و ۶۰۹۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کاربرد آب مغناطیسی در تمامی تیمارهای کود نانو آهن به طور متوسط به ترتیب باعث افزایش ۸/۲ و ۷/۹ درصدی عملکرد دانه و زی توده، نسبت به شرایط غیرمغناطیسی گردید. بنابراین مصرف کود نانو آهن و آب مغناطیسی می تواند به عنوان دو عامل تاثیرگذار بر افزایش عملکرد سویا مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده، کاربرد آب مغناطیسی و کود نانو باعث افزایش عملکرد دانه سویا، بیوماس و کارایی مصرف آب گردید. بطوریکه بیش ترین میزان عملکرد دانه، زی توده و کارایی مصرف آب در تیمار M_1N_4 به ترتیب به میزان ۳۶۷۰ و ۸۴۹۰ کیلوگرم در هکتار و ۷/۰۶ کیلوگرم در هکتار به ازای مصرف هر میلیتر آب حاصل گردید. کم ترین میزان عملکرد زی توده و

REFERENCES

- Abedinpour, M. and Rohani, E. (2017). Effects of magnetized water application on soil and maize growth indices under different amounts of salt in the water. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7 (3), 319-325. DOI: 10.2166/wrd.2016.216.
- Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S. and Karapetsas, N. (2002). Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. *Acta Horticulture*, 567, 447 - 450.
- DeRosa, M.C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y. (2010). Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5(2), 91. doi:10.1038/nnano.2010.2.
- Emadi, M. and Bahmanyar, M.A. (2017). Effect of Zero Capacity Nano-Iron on Reducing the Absorbable Intake of Some Heavy Elements in Three Soils with Different Characteristics. *Iran Journal of Soil and Water Research*, 48(4), 799-809. (In Farsi)
- Feizi, H., Berahmand, A., Rezvani Moghaddam, P., fotovvat, A. and Tahmasbi, N. (2010). Application Magnetic Field and Silver Nano Particles in growth and yield of maize. National Conference on Nano Science & Nano Technology, Payam noor University of Yazd. P: 1694-1697. (In Farsi)
- Gardner, F.P., Piers, R. and Michelle, L. (2011). *Physiology of crop plants*. Translation: Koocheki A, and Sarmadnia Gh. 16th ed. Mashhad SID Press. 2011, 400 pages.
- Ghadami Firoozabadi, A., Khoshravesh, M., Shirazi, P. and Zare Abyaneh., H. (2016). Effect of irrigation with magnetized water on seed yield and soybean yield of DPX cultivar in deficit irrigation and salinity. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(1), 131-143. (In Farsi)
- Gholinezhad, E. (2018). The effect of irrigation regime and iron nano-squat on yield, grain yield components and water use efficiency. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(4), 93-105.
- Hozayn, M. and Abdul Qados, A.M.S. (2010). Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 671-676.
- Ijaz, B., Ahmad Jatoi, Sh., Ahmad, D., Shahid, M. and Siddiqui, S.U. (2012). Changes in germination behavior of wheat seeds exposed to magnetic field and magnetically structured water. *African J. of Biotechnology*, 11(15), 3575-3582.
- Mahmood, S. and Usman, M. (2014). Consequences of Magnetized Water Application on Maize Seed

- Emergence in Sand Culture. *J. Agr. Sci. Technology*, 16, 47-55.
- Maleki Farahani, S., Rezazadeh, A.R. and Aghighishahroodi, M. (2015). Effect of Electromagnetic Fields and Ultrasound on Seed Germination of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Cotton Research*, 2(1), 109-118. (In Farsi)
- Monica, R.C. and Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62(2), 161-165.
- Peyvandi, M., Parande, H. and Mirza, M. (2011). Comparison of the effect of iron nano-chelate with iron chelate on growth parameters and basal antioxidant enzymes activity. *Journal of Advances Cellular-Molecular Biotechnology*, 1(4), 89-98. (In Farsi)
- Sadeghi, H. (2009). Design, construction and evaluation of a magnetic water supply unit for agricultural use. M.Sc dissertation, Tehran University, Tehran. (In Farsi)
- Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2014). Investigation the effect of drought stress and magnetized water on yield and yield components of mung bean. *J. of Agricultural Res.*, 6(1), 79-87. (In Farsi)
- Scott, N. and Chen, H. (2003). Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems, A Report Submitted to Cooperative State Research, Education, and Extension Service the USDA. National Planning Workshop November 18-19, (2002) Washington, DC. Cornell University.
- Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh, H., Shishevan, M. and Sharif, R.S. (2010). Effects of Nano-Iron Oxide Particles on Agronomic Traits of Soybean. *Not Sci. Biology*, 2(2), 112-113.
- Tosi, P., Tajbakhsh, M. and Isfehiani, M. (2013). The effect of spraying iron nanoclusters, amino acid products and magnetic water on the amount of protein and composition of soy fatty acids (*Glycine max*) at different harvesting times. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 16(2), 125-136. (In Farsi)