نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۶۸۸-۶۷۵

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 675-688

مقاله علمی-پژوهشی

برهمکنش مصرف کود اوره و آب مغناطیس شده بر عملکرد و کارایی مصرف آب و کود در گیاه خیار (*Cucumis sativus* cv. Kish F1)

جعفر نیکبخت[1*]- وحید عشقی[2]- طاهر برزگر[3]- علیرضا واعظی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر کود اوره و آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب و کود در گیاه خیار بررسی شد. پژوهش به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سطوح کود نیتروژن از منبع اوره در ۵ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی اوره) و آب آبیاری (مغناطیسی و غیرمغناطیسی) بودند. آبیاری با سیستم قطره‌ای-نواری و کوددهی به صورت کودآبیاری تقسیطی انجام گرفت. نتایج نشان داد اثر سطوح کود اوره بر عملکرد میوه، کارایی مصرف آب و کود، تعداد میوه، سطح برگ و شاخص کلروفیل معنی‌دار بود. تیمار آب مغناطیسی بر کلیه صفات مورد ارزیابی بجز شاخص کلروفیل اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل تیمارهای آزمایش بر صفات کارایی مصرف آب و کود اوره و تعداد میوه معنی‌دار شد. بر اساس یافته‌ها، متوسط عملکرد، کارایی مصرف آب و کود اوره تیمار آب مغناطیسی به ترتیب ۱۴/۹، ۱۳ و ۱۱۰/۵ درصد بیش‌تر از آب غیرمغناطیسی شد. نتایج نشان داد بهترین سطح کود اوره، ۷۵ درصد نیاز کودی اوره بود که در شرایط استفاده از آب مغناطیسی نسبت به آب غیرمغناطیسی عملکرد، کارایی مصرف آب و کود را به ترتیب ۱۸/۴، ۱۸/۴ و ۷۸/۰ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آب مغناطیسی، خیار، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف کود اوره، کودآبیاری

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، علاوه بر کمبود آب و کمبود عناصر غذایی قابل جذب خاک توسط ریشه، به عنوان عوامل محدودکننده رشد گیاه می‌باشد (۲۰). نیتروژن پرمصرف‌ترین عنصر غذایی در تغذیه گیاهان محسوب می‌گردد (۲۲) که در مناطق مذکور، اکثر گیاهان با کمبود این عنصر غذایی مواجه می‌باشند که در طول دوره رشد گیاه از طریق کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن، این کمبود جبران می‌گردد (۲۹). یکی از مسائل اصلی در مصرف کود، سطح بهینه مصرف آن می‌باشد. مصرف بیش از نیاز کودی، باعث طولانی‌تر شدن دوره‌ی رشد گیاه و تأخیر در رسیدن محصول، کاهش عملکرد کل، افزایش هزینه‌های تولید و مسائل زیست محیطی مانند آلودگی منابع آب می‌گردد (۲۲). بنابراین مصرف بهینه کود می‌تواند کارایی مصرف آب و کود را افزایش دهد (۳۵). پژوهش‌های متعددی به منظور تعیین سطح بهینه مقدار کود نیتروژن در تولید گیاه انجام گرفته است. بر اساس نتایج بررسی آکار و همکاران (۲)، بهترین عملکرد کاهو در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد و در تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، با وجود مصرف کود بیشتر، به علت مسمومیت گیاه یا عدم جذب نیتروژن توسط آن، عملکرد کاهش یافت. بررسی تأثیر سطوح و منابع کودی متفاوت نیتروژن توسط رستم‌زاده و همکاران (۳۳) نشان داد بیشترین عملکرد میوه خیار به میزان ۶۴۰/۲ گرم در بوته از تیمار ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره با پوشش گوگردی حاصل شد. در پژوهشی دیگر عالی و همکاران (۱) مشاهده کردند اثر متقابل مصرف کود نیتروژن در گیاه خیار به صورت کاربرد خاکی و تغذیه برگی، بر صفات عملکرد کل میوه، تعداد کل میوه و طول بوته معنی‌دار و بر درصد ماده خشک میوه و بوته معنی‌دار نشد. در این تحقیق، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: nikbakht.jaefar@znu.ac.ir)
۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۴- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.83971

نیتروژن و محلول غذایی اوره با غلظت ۷/۵ گرم در هزار، بالاترین عملکرد را داشت و بهترین تیمار شناخته شد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، مصرف کود بیش‌تر از ۷۰ درصد نیاز کودی باعث افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی زیست محیطی می‌گردد. نتایج بررسی اثر متقابل مقادیر متفاوت کودهای اوره و پتاسیم بر عملکرد خربزه در برزیل توسط سیلوا و همکاران (۳۸) نشان داد با افزایش مصرف کود اوره از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، میانگین عملکرد نیز به صورت خطی افزایش یافت. بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین عملکرد (به ترتیب ۷۵ و ۵۹ تن در هکتار) با کاربرد ۱۵۰ و صفر کیلوگرم در هکتار اوره حاصل شد. در این پژوهش، بیش‌ترین میانگین عملکرد خربزه با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم حاصل شد و با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم، میانگین عملکرد ۶۴/۲ تن در هکتار بود. نتایج بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تراکم بوته (۲/۵، ۱/۲۵ و ۰/۶۲ بوته در مترمربع) در کدوی تخم کاغذی نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد (به ترتیب ۱۱۹۷/۲۸ و ۷۹/۰۵ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب در مصرف ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار و تراکم ۲/۵ و ۰/۶۲ بوته در هکتار (به‌ترتیب) بود. در تیمارهای ۱۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، بیش‌ترین عملکرد (به ترتیب ۱۰۱۵ و ۷۵۰/۲۹ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۲/۵ بوته در هکتار بود (۲۵). سعید و همکاران (۳۴) در پژوهشی گلدانی، اثر کودهای شیمیایی (اوره ۴۶ درصد)، زیستی (ازتوباکتر) و ترکیب آنها (ازتوباکتر+ $\frac{1}{2}$ اوره) را در خیار گلخانه‌ای بررسی کردند. بر اساس نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد (به ترتیب ۵۳۴۳/۴ و ۴۲۹۸/۳ کیلوگرم) در تیمارهای ترکیب کودها و شاهد به دست آمد. میزان عملکرد تیمارهای کود زیستی و شیمیایی به ترتیب ۴۳۴۰/۶ و ۴۳۸۷/۲ کیلوگرم بود که از نظر آماری با هم تفاوت معنی‌دار نداشت. بررسی اثر کاربرد کود گاوی (۱۲ کیلوگرم در کرت)، کود شیمیایی از منبع اوره (۳۹۱ گرم در کرت) و ترکیب آنها (۶ کیلوگرم کود گاوی و ۱۹۶ گرم کود اوره) بر خصوصیات خاک و عملکرد خیار توسط نوک و نسانیا (۳۰) نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین عملکرد (۸/۲۹ و ۳/۲۱ کیلوگرم در کرت) به ترتیب در تیمارهای کاربرد ترکیبی کودها و شاهد بود. میانگین عملکرد در تیمارهای کود گاوی و کود اوره به ترتیب ۴/۲۹ و ۶/۰۴ کیلوگرم به دست آمد. حمزه‌ئی و بابایی (۱۰) طی تحقیقی تأثیر دور آبیاری (۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ روز) و میزان کود نیتروژن (صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم بر هکتار اوره) بر عملکرد و اجزای عملکرد در کدوی پوست کاغذی را در دانشگاه بوعلی سینای همدان بررسی کردند. بر اساس نتایج، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد بذر (به ترتیب ۸۴/۸۴ و ۲۵/۲۶ گرم در مترمربع) در دور ۶ و ۱۵ روز و با کاربرد ۱۸۰ و صفر کیلوگرم در هکتار کود اوره حاصل شد. در این پژوهش در دوره‌های آبیاری ۶، ۹ و ۱۲ روز بیش‌ترین میزان عملکرد از مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار اوره و در دور ۱۵ روز از مصرف ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار اوره حاصل شد.

فناوری مغناطیسی یکی از جدیدترن و مؤثرترین روش‌ها برای استفاده بهینه از آب در کشاورزی است. آب مغناطیسی، آبی است که از یک میدان مغناطیسی ثابت که طبق محاسبات معینی ایجاد شده، عبور کند. عبور آب از میدان مغناطیسی باعث تغییر و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود (۱۴). یافته‌های پژوهش‌های متعدد اثرات مثبت کاربرد آب مغناطیسی در کشاورزی را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش عیسی و همکاران (۱۸) نشان داد کاربرد آب مغناطیسی برای آبیاری بوته‌های خیار به همراه محلول‌پاشی آمینوآلکسین، متوسط تعداد برگ در بوته، سطح برگ، وزن خشک ساقه، تعداد گل، تعداد میوه در بوته و وزن میوه در بوته را به ترتیب ۶/۲، ۳۰/۰، ۳۹/۶، ۸/۰، ۲۲/۰ و ۳/۴ درصد نسبت به آب غیرمغناطیسی افزایش داد. بر اساس نتایج پژوهش صورت گرفته توسط محمودی و همکاران (۲۳) در دانشگاه فردوسی مشهد، قرار دادن بذر نخود در میدان مغناطیسی موجب افزایش معنی‌دار ماده خشک به میزان ۲۶ درصد نسبت به بذور عادی و آبیاری با آب مغناطیسی، حدود ۲۵ درصد نسبت به آب معمولی میزان ماده خشک تولیدی نخود را افزایش داد. اثرات متقابل تیمارها نشان داد که اعمال میدان مغناطیسی بر بذر نخود و آب آبیاری سبب افزایش ۳۱ درصد عملکرد دانه شد. نتایج تحقیق شاهین و همکاران (۳۷) در دانشگاه قاهره مصر نشان داد درصد جوانه‌زنی گیاهان گوجه‌فرنگی، بادمجان، خیار و کدو با آب معمولی به ترتیب ۵۶، ۵۲، ۵۹ و ۵۷ درصد و در آب مغناطیسی ۸۰، ۷۷، ۸۸ و ۸۷ درصد بود. ضرابی و همکاران (۳۹) مشاهده کردند بیش‌ترین قطر ساقه، عرض برگ، ارتفاع بوته و شاخص سبزینه برگ گیاهان ذرت تحت آزمایش، مربوط به گیاهان تیمار آب مغناطیسی در شرایط بدون تنش (به ترتیب ۱/۸۷ سانتی‌متر، ۵/۹۲ سانتی‌متر، ۱۲۶ سانتی‌متر و ۴۵/۹۷) بود. در پژوهش شیخ و همکاران (۷)، درصد جوانه‌زنی بذرهای خیار تیمار شده با آب مغناطیسی بیش‌تر بود. هم چنین سرعت جوانه‌زنی بذرها برای میدان مغناطیسی با شدت‌های ۰/۲۹ و ۰/۵ تسلا نسبت به آب معمولی به ترتیب ۱۳ و ۴۰ درصد در ۱۸ روز افزایش داشت.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر کودآبیاری اوره با آب مغناطیسی بر عملکرد و کارایی مصرف آب و کود در گیاه خیار بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار از خرداد تا آبان‌ماه ۱۳۹۷ بر روی گیاه خیار رقم Kish F1 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام گرفت. مختصات جغرافیایی محل

آزمایش ″۵۰ ′۴۱ °۳۶ عرض شمالی و ″۱۸ ′۲۴ °۴۸ طول شرقی و ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا بود. تیمارهای آزمایش شامل سطوح متفاوت کود نیتروژن از منبع اوره در ۵ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد کود اوره مورد نیاز گیاه) و آب آبیاری عبور یافته و عدم عبور از میدان مغناطیسی بود. تیمار سطح کود اوره صفر درصد آب غیرمغناطیسی به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ و آب مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.

در هر کرت، بذرهای خیار در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متری با فاصله ۱۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌های کشت و ۳۰ سانتی‌متر بر روی ردیف کشت گردید. جهت ممانعت از تأثیر تیمارها بر یکدیگر، بین تیمارها و تکرارها ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. برای آبیاری بوته‌ها از روش آبیاری قطره‌ای–نواری استفاده شد. پس از چیدمان لوله‌های اصلی آبیاری، به منظور توزیع دقیق تیمارهای کود، یک عدد شیر در ابتدای هر کرت آزمایشی بر روی لوله آبرسان نصب و در نهایت نوارهای آبیاری بر روی زمین و در کنار ردیف‌های کشت قرار داده شد. به منظور ایجاد میدان مغناطیسی از یک دستگاه الکترومغناطیس مدل MVR/100 سری MEG1300 ساخت گروه مهندسی مهرآب استفاده شد. سیم‌پیچ دستگاه دور لوله با قطر ۲ اینچ پیچیده شده بود و قدرت میدان مغناطیسی ایجاد شده، ۰/۱ تسلا بود (شکل ۱). دستگاه در ابتدای مسیر لوله‌های آبیاری به سیستم متصل شد. قبل از انجام آبیاری، برق دستگاه مبدل وصل می‌شد. در طی فصل رشد، عملیات داشت شامل کنترل علف‌های هرز به صورت مکانیکی (کندن با دست و بیلچه) و مبارزه با آفات با روش محلول‌پاشی انجام شد. نیاز آبی بوته‌های خیار به صورت روزانه و با از استفاده داده‌های به‌هنگام هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان و بر اساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شد. با جمع نیاز آبی روزانه، میزان آب آبیاری هر دور آبیاری محاسبه شده و در اختیار گیاه قرار می‌گرفت. دور آبیاری لحاظ شده در این پژوهش ۳ روز بود. مجموع آب داده شده به گیاهان ۲۸۴۸/۲ متر مکعب در هکتار بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of farm soil

pH	EC ($dS.m^{-1}$)	N (%)	Ca ($mg.kg^{-1}$)	Na ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	OM(%)	بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
7.42	1.49	0.1	120	130	200	0.94	Clay Loam	25	38	37

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه مورد استفاده

Table 2- Results of chemical analysis of well water used

HCo_3 ($mgr.L^{-1}$)	Co_3 ($mgr.L^{-1}$)	Cl ($mgr.L^{-1}$)	Mg ($mgr.L^{-1}$)	Ca ($mgr.L^{-1}$)	K ($mgr.L^{-1}$)	Na ($mgr.L^{-1}$)	SAR $(meq.L^{-1})^{0.5}$	EC ($dS.m^{-1}$)	pH
195.2	0.0	582.2	103.7	258.45	0.0	50	0.66	2.35	6.5

شکل ۱- دستگاه الکترومغناطیس مورد استفاده در آزمایش

Figure 1- The Electromagnetic device used in the research

$$ET_c = K_c.ET_0 \quad (۱)$$

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T+273)} u_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۲)$$

ET_c تبخیر-تعرق گیاه خیار، K_c ضریب گیاهی، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه چمن ($mm\,day^{-1}$)؛ R_n: تشعشع خالص در سطح گیاه ($MJ\,m^{-2}\,d^{-1}$)؛ G: شار گرمایی خاک ($MJ\,m^{-2}\,d^{-1}$)؛ T: متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری (^oC)؛ u_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m\,sec^{-1}$)؛ $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kpa)؛ Δ: شیب منحنی فشار بخار ($Kpa\ ^oC^{-1}$)؛ γ: ضریب سایکرومتری ($Kpa\ ^oC^{-1}$)؛۹۰۰: ضریبی برای گیاه مرجع ($KJ^{-1}kg°K\,d^{-1}$)؛ ۰/۳۴: ضریب باد برای گیاه مرجع ($msec^{-1}$) (۵).

کارآیی مصرف نیتروژن به مقدار زیادی تحت تأثیر میزان، دفعات مصرف (تقسیط)، منبع، زمان و روش مصرف قرار دارد. مصرف یک باره نیتروژن، موجب هدر رفتن این عنصر غذایی پراهمیت شده و کارآیی آن را کاهش داده و سبب آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود (۳۱). در این آزمایش کوددهی در طول دوره رشد گیاه به صورت محلول در آب (کودآبیاری) و همزمان با عملیات آبیاری در چهار مرحله (تقسیطی) به صورت ۱۵، ۳۰، ۳۰ و ۲۵ درصد کود اوره مورد نیاز گیاه انجام گرفت. مرحله اول کوددهی، ۴۵ روز بعد از شروع کشت و مراحل بعدی در فواصل زمانی ۱۰ روز بعد از مرحله اول انجام گرفت (۲۴). میزان کود اوره مورد نیاز برای تیمار ۱۰۰ درصد بر اساس درصد نیتروژن خاک مزرعه (جدول ۱)، نیاز کودی گیاه خیار به نیتروژن و درصد نیتروژن کود اوره (۴۶ درصد)، ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد (۳۳). میزان کود اوره سایر تیمارها (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد) بر اساس میزان کود اوره تیمار ۱۰۰ درصد محاسبه شد. در هر نوبت کوددهی بر اساس تعداد کرت هر تیمار کودی، سطح کود اوره تیمار و درصد اوره در نظر گرفته شده در تقسیط، مقدار کود اوره مورد نیاز برای توزیع محاسبه شده و در داخل تانک کود ریخته شده و با آب مخلوط می‌گردید. سپس شیر ورودی ابتدای کرت‌های تیمار کودی باز شده و همزمان با عملیات آبیاری، کوددهی انجام می‌گرفت.

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای آزمایش بر گیاه، با حذف ردیف‌ها و بوته‌های حاشیه، تعداد ۳ بوته در هر تیمار و تکرار معین شده و اندازه‌گیری صفات در طول دوره رشد و در انتهای فصل از آن‌ها صورت گرفت.

اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ بوته‌های خیار در وسط دوره رشد با استفاده از دستگاه SPAD مدل CCM-200 ساخت شرکت Opti Sciences امریکا انجام شد. در طول فصل رشد، در چین‌های متوالی، میوه‌های خیار با شرایط بازارپسندی مناسب (با وزن حدود ۸۰ تا ۱۲۰ گرم) از بوته‌های معین شده برداشت، سپس تعداد و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت شد. در انتهای فصل، با تجمیع تعداد میوه چیده شده در برداشت‌های متوالی و وزن آن‌ها، عملکرد هر بوته (تعداد و وزن) به دست آمد. جهت تعیین سطح برگ، در انتهای فصل رشد، یکی از بوته‌ها از محل طوقه برش داده شده و پس از حذف دمبرگ‌ها، سطح برگ با کمک اسکنر نوری تعیین شد. پس از اتمام فصل کشت و اندازه‌گیری عملکرد بوته‌های هر کرت، مقدار کارایی مصرف آب و کود از روابط ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (۳)$$

Y: وزن خیار بر حسب کیلوگرم، W: مقدار آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم عملکرد بر حسب متر مکعب و WUE: کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب (۲۸).

$$FUE = \frac{YF - YNF}{F} \times 100 \quad (۴)$$

FUE: کارایی مصرف کود اوره (کیلوگرم بر کیلوگرم)، YF: عملکرد گیاهانی که کود اوره دریافت کرده‌اند (کیلوگرم)، YNF: عملکرد گیاهانی که کود اوره دریافت نکرده‌اند (تیمار شاهد) (کیلوگرم) و F: میزان کود اوره مصرف شده برای هر تیمار (کیلوگرم) (۳۳). در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با کمک نرم‌افزار SAS 9.3 صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی و جداول ۴ و ۵ مقایسه میانگین اثرات سطوح متفاوت کودآبیاری و آب مغناطیسی بر آنها را بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد. تأثیر تیمار سطوح متفاوت کود اوره بر عملکرد، کارایی مصرف آب، تعداد میوه و سطح برگ در سطح یک درصد، شاخص کلروفیل در سطح یک درصد و کارایی مصرف کود اوره در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. تیمار آب مغناطیسی بر کلیه صفات مورد ارزیابی بجز شاخص کلروفیل (تأثیر غیرمعنی‌دار) در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت. اثر متقابل تیمارهای سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر صفات کارایی مصرف آب، کارایی مصرف کود اوره و تعداد میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات اثر معنی‌دار را نشان نداد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در خیار رقم kish-F1

Table 3- Results of analysis of variance mean squares of traits evaluated in cucumber cv Kish F1

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی(df)	عملکرد میوه Fruit yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency	کارایی مصرف کود Fertilizer use efficiency	تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	سطح برگ Leaf area
تکرار Replication	2	345424.6ns	36.9ns	3337.7ns	192.5ns	15.3ns	53.2ns
سطح اوره (a) Urea level (UL)	4	210108.8***	20.7***	620.1*	61.7***	41.0**	61634.0***
خطای (a) Error (a)	6	8426.0	0.3	77.3	3.3	3.1	1.1
آب مغناطیسی Magnetized water (MW)	1	356997.0***	39.2***	5664.2***	57.1***	1.6ns	37623.1***
آب مغناطیسی×سطح اوره UL×MW	4	14683.0ns	2.5**	1379.4**	16.0**	8.2ns	8183.8ns
خطای کل Total error	10	8506.1	0.5	67.7	2.5	3.9	3564.3
ضریب تغییرات (٪) Cross validation	-	5.8	4.9	19.0	5.8	4.9	4.7

ns: غیرمعنی‌دار؛ ***، ** و *: به ترتیب، معنی‌دار در سطح ۰/۱، ۱ و ۵ درصد.

ns: no significant; *, ** and ***: significant at 0.1%, 1% and 5% respectively.

شاخص کلروفیل برگ

بر اساس یافته‌های پژوهش مشاهده شد که از نظر آماری میانگین شاخص کلروفیل تحت تأثیر تیمار آب مغناطیسی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵). دلیل اصلی کاهش کلروفیل برگ (در اثر تخریب و تجزیه)، وارد شدن تنش خشکی به گیاه می‌باشد (۲۸) که در تحقیق حاضر این تیمار وجود نداشت. نتایج تحقیق نیکبخت و همکاران (۲۸) نشان داد شاخص کلروفیل برگ در گیاهان ذرت تیمار شده با آب مغناطیسی ۱۰/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بیش‌تر بود.

کودآبیاری بوته‌ها موجب گردید بیش‌ترین میانگین شاخص کلروفیل برگ در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد کود اوره حاصل شود (جدول ۴) که بطور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (سطح صفر درصد کود اوره) به ترتیب ۷/۳ و ۴/۴ (۱۹/۸ و ۱۱/۹ درصد به ترتیب) بیش‌تر شد. افزایش محتوی نیتروژن خاک سبب افزایش میزان نیتروژن برگ می‌شود و پاسخ فتوسنتز برگ به تابش تا حد زیادی وابسته به میزان نیتروژن برگ می‌باشد زیرا کلروفیل موجود در کلروپلاست بدون حضور نیتروژن یا کمبود آن قادر به سنتز نبوده و فعالیت فتوسنتز و کلروفیل با کمبود نیتروژن کاهش می‌یابد. بنابراین نیتروژن تأثیر مستقیم بر فتوسنتز دارد (۳۲).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات کودآبیاری بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه خیار

Table 4- Comparison of the mean effects of fertigation on measured traits in cucumber

تیمار Treatment		عملکرد Yield (t/ha)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg/m^3)	کارایی مصرف کود Fertilizer use efficiency (kg/kg)	تعداد میوه Number of fruits	سطح برگ Leaf area (cm^2)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
سطح اوره Urea level	100%	47.4a	16.7a	33.3b	31.9a	1427.4a	41.1ab
	75%	46.4a	16.3a	41.4ab	30.1a	1294.7b	44.0a
	50%	41.6b	14.6b	40.6ab	26.9b	1269.4b	40.0b
	25%	38.9b	13.1c	57.4a	25.8bc	1233.7b	40.5b
	0%	35.6c	12.5c	---	24.1c	1149.6c	36.7c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Numbers followed by the same letter in the colmens, are not significantly differentns (P<0.05).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات آب مغناطیسی بر صفات اندازه‌گیری شده در گیاه خیار

Table 5- Comparison of the mean effects of magnetized water on measured traits in cucumber

تیمار Treatment	عملکرد Yield (t/ha)	کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg/m^3)	کارایی مصرف کود Fertilizer use efficiency (kg/kg)	تعداد میوه Number of fruits	سطح برگ Leaf area (cm^2)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
آب مغناطیسی Magnetized water	44.9a	15.8a	58.5a	29.1a	1310.4a	40.7a
آب غیرمغناطیسی No magnetized water	39.1b	13.5b	27.8b	26.4b	1239.5b	40.2a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Numbers followed by the same letter in the columns are not significantly differentns (P<0.05).

بیگی و همکاران (۶) طی آزمایشی بر روی خیار مشاهده کردند کاربرد سطوح مختلف نیتروژن و مولیبدن محلول، باعث افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ شد. نتایج اثر متقابل دور آبیاری و مقدار نیتروژن مصرفی در کدوی تخم کاغذی نشان داد در هر دور آبیاری، میزان کلروفیل برگ گیاهان با افزایش میزان کود نیتروژن مصرف شده، افزایش یافت (۱۰).

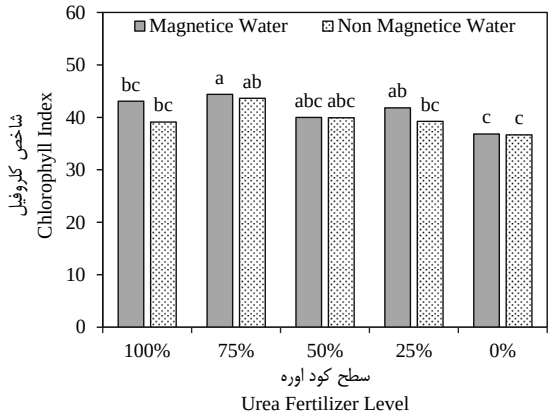
با توجه به نتایج جدول ۴، مشاهده می‌شود افزایش میزان کود اوره مصرفی تا سطح ۷۵ درصد، موجب افزایش میزان کلروفیل و سبزینگی برگ شد. اما بعد از آن (سطح ۱۰۰ درصد کود اوره)، افزایش مصرف کود نیتروژن باعث کاهش ۷ درصد شاخص کلروفیل برگ شد. بر اساس نتایج جدول ۳، چنین نتیجه می‌گردد که کود نیتروژن اضافی مصرف شده بعد از سطح ۷۵ درصد، موجب افزایش رشد رویشی گیاه گردید (۱۹).

نتایج برهم‌کنش تیمار آب مغناطیسی و سطوح متفاوت کود اوره بر میانگین شاخص کلروفیل برگ نشان داد (شکل ۲) در هر سطح کود اوره، متوسط شاخص کلروفیل برگ در تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب غیرمغناطیسی افزایش یافت. در مقایسه با تیمار شاهد (سطح کود اوره صفر درصد آب غیرمغناطیسی)، بیش‌ترین افزایش معنی‌دار در تیمار ۷۵ درصد کود اوره آب مغناطیسی (۷/۷ یا ۲۱/۱ درصد) و کم‌ترین افزایش، در تیمار صفر درصد کود اوره آب مغناطیسی (۰/۲ یا ۰/۴ درصد) حاصل شد. در تیمار صفر درصد کود اوره آب مغناطیسی، با وجود عدم کودآبیاری بوته‌های خیار، اما متوسط شاخص کلروفیل برگ بیش‌تر شد. در اثر نیروی القایی میدان مغناطیسی، نیروی کشش سطحی آب کاهش یافته، سیالیت و خاصیت تر کنندگی آن بیش‌تر می‌شود. در این شرایط حلالیت عنصرهای غذایی قابل دسترس برای گیاه نیز بیش‌تر شده، در نتیجه جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه افزایش می‌یابد (۲۶ و ۱۲) که شرایط اخیر باعث افزایش جذب نیتروژن در تیمار آب مغناطیسی شد.

سطح برگ

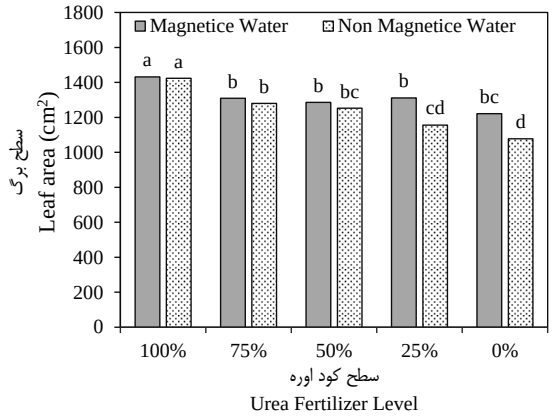
آبیاری بوته‌های خیار با آب مغناطیسی موجب افزایش متوسط سطح برگ به میزان ۷۰/۸ سانتی‌متر مربع (۵/۷ درصد) شد (جدول ۵). آبیاری با آب مغناطیسی سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه می‌شود. احتمالا با افزایش جذب آب، آماس سلولی و در نتیجه پتانسیل فشاری آب در سلول، افزایش یافته بنابراین تقسیم سلولی در بافت‌های برگ بیش‌تر می‌شود. هم چنین در نتیجه افزایش جذب آب و مواد غذایی میزان پروتئین بافت‌ها افزایش یافته و فعالیت هورمون‌هایی که باعث رشد، تقسیم و کشیدگی سلول‌ها می‌گردد، بیش‌تر می‌شود. در نهایت تعداد برگ‌ها و سطح کل برگ گیاه، افزایش می‌یابد (۲۷، ۲۸). نتایج آزمایش دسوزا و همکاران (۸) نشان داد قرار دادن بذر گوجه‌فرنگی در میدان مغناطیسی متوسط سطح کل برگ و عملکرد گوجه‌فرنگی را به طور قابل توجهی افزایش داد.

در پژوهش حاضر، بیش‌ترین میانگین سطح برگ در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره (۱۴۲۷/۴ سانتی‌متر مربع) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (۱۱۴۹/۶ سانتی‌متر مربع)، ۲۷۷/۸ سانتی‌متر مربع (۲۴ درصد) اختلاف داشت (جدول ۴). اختلاف متوسط سطح برگ بوته‌های خیار در سایر تیمارهای کود اوره (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد) با یکدیگر معنی‌دار نشد ولی با تیمار شاهد این اختلاف معنی‌دار بود (به ترتیب ۱۴۵/۱، ۱۱۹/۸ و ۸۴/۱ سانتی‌متر مربع یا ۱۲/۶، ۱۰/۴ و ۷/۳ درصد). افزایش سطح برگ خیار در اثر مصرف کود اوره را می‌توان به نقش نیتروژن در ساخته شدن پروتئین آنزیم‌ها مربوط دانست. پروتئین‌های آنزیم، در تشکیل سلول‌های مریستمی و تقسیم سلولی دخالت دارد. بنابراین هر چه میزان نیتروژن در گیاه بیش‌تر باشد، مقدار بیش‌تری پروتئین تولید می‌شود. در نتیجه برگ‌ها بزرگ‌تر خواهد شد (۳۶). بیگی و همکاران (۶) نتیجه گرفتند اعمال سطوح مختلف نیتروژن بر گیاه خیار باعث تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر شاخص کلروفیل

Figure 2- Mean comparison of interaction effects of urea fertilizer levels and magnetized water on Chlorophyll Index



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر سطح برگ

Figure 3- Mean comparison of interaction effects of urea fertilizer levels and magnetized water on leaf area

بر اساس نتایج پژوهش مرادی مرجانه و همکاران (۲۵)، بیش‌ترین شاخص سطح برگ کدوی تخم کاغذی در تراکم‌های کشت ۲/۵، ۱/۲۵ و ۰/۶۲ بوته در مترمربع به ترتیب با کاربرد ۲۵۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (۴/۲، ۳/۲ و ۰/۸ به ترتیب) حاصل شد. در کلیه تراکم‌ها، کم‌ترین شاخص سطح برگ با کاربرد ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد. در پژوهش آقایی و احسان‌زاده (۴) مقادیر شاخص سطح برگ کدوی تخم کاغذی با کاربرد صفر، ۱۲۰ و ۲۲۰ کیلوگرم در گرم در هکتار به ترتیب ۱/۱۶، ۱/۸۳ و ۲/۵۰ حاصل شد.

با توجه به نتایج شکل ۳، در کلیه سطوح کود اوره، متوسط سطح برگ تیمار آب مغناطیسی بیش‌تر از تیمار آب غیرمغناطیسی بود که این افزایش در سطوح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کود اوره معنی‌دار و در سطوح ۲۵ و صفر درصد کود اوره غیرمعنی‌دار شد که بیش‌ترین اختلاف بین دو تیمار آب مغناطیسی و غیرمغناطیسی در تیمار ۲۵ درصد کود اوره (۱۵۵/۸ سانتی‌متر مربع یا ۱۳/۵ درصد) و کم‌ترین اختلاف در تیمار صفر درصد کود اوره (۱۴۳/۶ سانتی‌متر مربع یا ۱۳/۳ درصد) بود. متوسط سطح برگ تیمار صفر درصد کود اوره آب مغناطیسی به میزان ۶۵/۶ سانتی‌متر مربع (۵/۷ درصد) از تیمار ۲۵ درصد کود اوره آب غیرمغناطیسی بیش‌تر شد. جذب آسان آب و نیتروژن توزیع شده در تیمار آب مغناطیسی می‌تواند دلیل افزایش سطح برگ در این تیمار در هر سطح کود اوره باشد.

تعداد میوه در بوته

در تیمار آب مغناطیسی به طور متوسط ۲۹/۱ عدد میوه از بوته‌ها برداشت شد که نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی (۲۶/۴ عدد)، ۲/۸ عدد (۱۰/۵ درصد) بیش‌تر شد (جدول ۵). قنبری و همکاران (۹) در بررسی اثر متقابل آب مغناطیسی و شوری بر عملکرد خیار بوته‌ای گزارش دادند که عبور دادن آب آبیاری از میدان مغناطیسی باعث افزایش ۸۲ درصدی تعداد میوه در بوته نسبت به آب غیرمغناطیسی شد. در آزمایش شاهین و همکاران (۳۷) تعداد میوه خیار در هر مترمربع در تیمار بذر غیرمغناطیسی آبیاری شده با آب غیرمغناطیسی ۳۵ عدد و در تیمار بذر مغناطیسی آبیاری شده با آب مغناطیسی ۴۲ عدد به دست آمد.

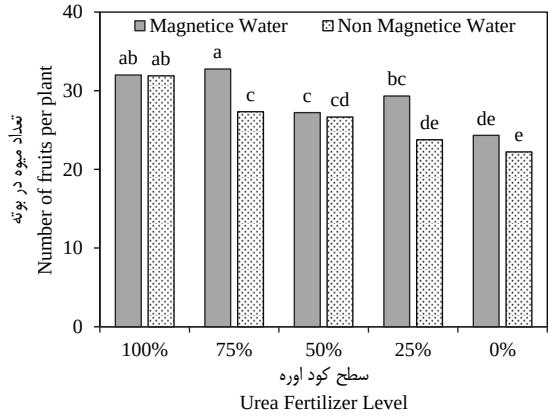
مقایسه نتایج میانگین تعداد میوه خیار تحت تأثیر کاربرد سطوح متفاوت کود نیتروژن (اوره) نشان داد (جدول ۴)، بیش‌ترین میانگین تعداد میوه خیار در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره (۳۱/۹ عدد) بود که نسبت به تیمار شاهد (۲۴/۱ عدد)، ۷/۹ عدد (۳۲/۸ درصد) افزایش را نشان داد. هم چنین بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد کود اوره اختلاف معنی‌داری حاصل نشد. با مصرف نیتروژن، کلروفیل برگ افزایش می‌یابد و در نتیجه فتوسنتز بیش‌تر شده و رشد رویشی، سطح برگ‌ها و تعداد شاخه‌های فرعی افزایش می‌یابد و این افزایش باعث کربن‌گیری بیش‌تر می‌شود. در نتیجه میزان مواد غذای ساخته شده افزایش یافته که باعث گل‌دهی بیش‌تر و تولید میوه‌های بیش‌تر در بوته خیار می‌شود (۳۶). رستم‌زاده و همکاران (۳۳) گزارش دادند که بیش‌ترین تعداد میوه خیار در بوته‌های تیمار ۶۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد، افزایش قابل توجهی را داشت. شادمهر و همکارن (۳۶) بیش‌ترین تعداد میوه در بوته خیار را در سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کم‌ترین تعداد میوه شمارش شده را در تیمار شاهد به دست آوردند. بر اساس نتایج پژوهش حمزه‌ئی و بابایی (۱۰)، در دورهای متفاوت آبیاری (۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ روز) بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد میوه در بوته‌های کدوی پوست کاغذی با کاربرد ۱۸۰ و صفر کیلوگرم بر هکتار اوره حاصل شد.

مقایسه نتایج برهم‌کنش تیمارهای آب مغناطیسی و سطوح کود اوره بر میانگین تعداد میوه خیار در بوته نشان داد (شکل ۴) در هر سطح کود اوره، آبیاری بوته‌ها با آب مغناطیسی باعث افزایش میانگین تعداد میوه در بوته شد که این افزایش در سطوح ۷۵ و ۲۵ درصد کود اوره معنی‌دار بود و در بقیه سطوح افزایش معنی‌دار نشد. بیش‌ترین متوسط تعداد میوه خیار در تیمار ۷۵ درصد کود اوره آب مغناطیسی (۳۲/۸ عدد) حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (۲۲/۲ عدد)، ۱۰/۶ عدد (۴۷/۷ درصد) افزایش داشت.

عملکرد کل

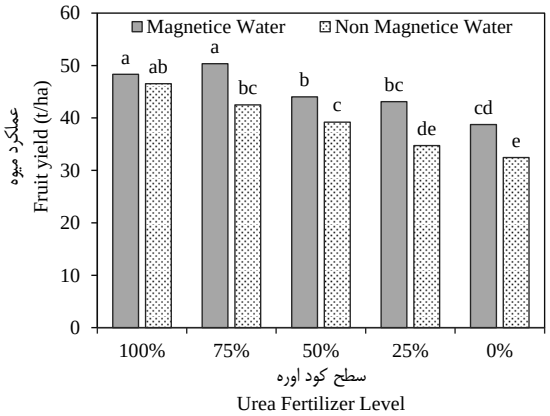
نتایج پژوهش حاضر نشان داد با وجود تأمین یکسان آب مورد نیاز بوته‌های خیار، میانگین عملکرد میوه در تیمار آب مغناطیسی (۴۴/۹ تن در هکتار) نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی (۳۹/۱ تن در هکتار)، ۵/۸ تن در هکتار (۱۴/۹ درصد) بیش‌تر شد (جدول ۵). در اثر عبور آب از میدان مغناطیسی کشش سطحی آن کاهش یافته و شکل املاح از حالت یونی به مولکولی تغییر می‌یابد به همین دلیل نیز نیروی اسمزی آب کاهش می‌یابد. در نتیجه ریشه‌ها بدون صرف انرژی بیش‌تر برای مقابله با نیروی اسمزی، آب و مواد غذایی را به راحتی از خاک جذب می‌کند (۱۷). با افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه، میزان پروتئین بافت‌ها افزایش یافته، فعالیت هورمون‌هایی که باعث رشد، تقسیم و کشیدگی سلول‌ها می‌گردد بیش‌تر می‌شود. پس تعداد برگ‌ها و سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد. در این شرایط میزان دریافت نور خورشید و عمل فتوسنتز توسط گیاه افزایش یافته، عملکرد و تولید محصول بیش‌تر می‌گردد (۲۷). بر اساس یافته‌های شاهین و همکاران (۳۷) عملکرد خیار در تیمار بذر و آب آبیاری غیرمغناطیسی ۴/۷۱ کیلوگرم در مترمربع و در تیمار بذر آب آبیاری مغناطیسی ۵/۸۸ کیلوگرم در مترمربع بود. هوزاین و عبدوالقادوس (۱۵) گزارش کردند عملکرد بیولوژیک نخود در اثر تیمار آب مغناطیسی نسبت به آب معمولی ۳۹ درصد افزایش داشت. هوازین و عبدوالقادوس (۱۶) طی پژوهشی نتیجه گرفتند آبیاری گندم با آب مغناطیسی باعث افزایش تعداد دانه (۳۳/۳ درصد)، میزان کاه (۲۴/۶ درصد) و میزان محصول بیولوژیکی هر بوته (۲۸/۲ درصد) نسبت به آب غیرمغناطیسی شد.

تیمار بوته‌های خیار با سطوح متفاوت کود اوره باعث گردید متوسط عملکرد کل خیار در تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد کود اوره (به ترتیب ۴۷/۴ و ۴۶/۴ تن در هکتار) نسبت به تیمار شاهد (۳۵/۶ تن در هکتار) به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۰/۸ تن در هکتار (۳۳/۲ و ۳۰/۴ درصد به ترتیب) افزایش یابد اما اختلاف متوسط عملکرد این دو سطح کودی معنی‌دار نشد. هاشم‌آبادی و کاشی (۱۳) در بررسی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر خیار پائیزه نتیجه گرفتند عملکرد تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نسبت به تیمار شاهد ۶۶ درصد افزایش یافت. رستم‌زاده و همکاران (۳۳) بالاترین عملکرد خیار را از کاربرد ۶۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۳۳۰/۹۹۵ گرم در بوته به دست آوردند. عالی و همکاران (۱) بیش‌ترین عملکرد خیار را در تیمار کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۲۶/۲۶ تن در هکتار و کم‌ترین عملکرد را در تیمار شاهد و تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به میزان ۲۱/۴۰۳ تن در هکتار مشاهده کردند.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر تعداد میوه در بوته

Figure 4- Mean comparison of interaction effects of urea fertilizer levels and magnetized water on number of fruits per plant



شکل ٥- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر عملکرد میوه

Figure 5- Mean comparison of interaction effects of urea fertilizer levels and magnetized water on yield

آقایی و احسان‌زاده (۴) مشاهده کردند بیش‌ترین عملکرد میوه و دانه (به ترتیب ۴۶۵۱۵ و ۹۸۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد (صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار) و کم‌ترین عملکرد میوه و دانه (به ترتیب ۳۵۸۶۴ و ۷۱۴ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۲۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار حاصل شد. بر اساس نتایج پژوهش مرادی مرجانه و همکاران (۲۵) بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد میوه کدوی تخم کاغذی (به ترتیب ۵۹۷۱۴ و ۵۷۷۶۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای ۱۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (به ترتیب) و بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه کدوی تخم کاغذی (به ترتیب ۵۳۸/۱ و ۳۷۳/۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (به ترتیب) حاصل شد.

نتایج اثر متقابل آب مغناطیسی و سطوح کود اوره بر میانگین عملکرد کل میوه خیار در هکتار (شکل ۵) نشان داد در هر سطح کودی، استفاده از آب مغناطیسی برای آبیاری بوته‌ها باعث افزایش متوسط عملکرد کل نسبت به آب غیرمغناطیسی شد که این افزایش بجز سطح ۱۰۰ درصد کود اوره در بقیه سطوح کودی، معنی‌دار بود. بیش‌ترین متوسط عملکرد کل میوه خیار در تیمار ۷۵ درصد کود اوره آب مغناطیسی حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (صفر درصد کود اوره آب غیرمغناطیسی)، ۱۷/۹ تن در هکتار (۵۵/۱ درصد) بیش‌تر بود. متوسط عملکرد کل تیمار ۷۵ درصد کود اوره آب مغناطیسی با وجود عدم اختلاف معنی‌دار با تیمارهای ۱۰۰ کود اوره آب مغناطیسی و غیرمغناطیسی، ولی نسبت به آن‌ها به ترتیب ۲ و ۳/۸ تن در هکتار (۴/۱ و ۸/۲ درصد به ترتیب) بیش‌تر شد. در حالت کلی با توجه به شکل ۵ چنین نتیجه می‌شود که با کودآبیاری مغناطیسی بوته‌های خیار در سطح ۷۵ درصد کود اوره، علاوه بر ۲۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف کود اوره، متوسط عملکرد کل کاهش معنی‌دار نخواهد یافت. کاهش میزان کود اوره مصرفی، علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش سود خالص، از بروز مشکلات زیست محیطی نیز ممانعت می‌کند.

کارایی مصرف آب

در مناطق خشک و نیمه‌خشک که کمبود آب وجود دارد، هر راه‌کاری که به ازای واحد آب مصرفی، تولید محصول را بیش‌تر نماید باعث افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد. با توجه به جدول ۵، مشاهده می‌شود با کاربرد میزان آب ثابت برای کلیه تیمارهای مورد آزمایش، متوسط عملکرد محصول در آب مغناطیسی موجب افزایش معنی‌دار متوسط کارایی مصرف آب (۲/۳ کیلوگرم بر متر مکعب یا ۱۳ درصد) نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی شد. نیکبخت و همکاران (۲۷) گزارش دادند آبیاری ذرت با آب مغناطیسی سبب افزایش ۹ درصدی متوسط کارایی مصرف آب نسبت به آب معمولی شد.

تیمار بوته‌های خیار با سطوح متفاوت کود اوره باعث افزایش متوسط کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد که این افزایش در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد کود اوره مصرفی (به ترتیب ۴/۲، ۳/۸ و ۲/۱ کیلوگرم بر متر مکعب یا ۳۳/۲، ۳۰/۴ و ۱۶/۸ درصد) معنی‌دار و در تیمار ۲۵ درصد کود اوره، افزایش (۰/۶ کیلوگرم بر متر مکعب یا ۴/۷ درصد) غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). چنانچه مشاهده می‌گردد میانگین کارایی مصرف آب در دو سطح ۱۰۰ و ۷۵ درصد کود اوره در یک سطح آماری قرار گرفت. افزایش مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب، از طریق رشد سریع برگ‌ها، سرعت تکامل سطح سایه‌انداز گیاه را افزایش می‌دهد و موجب به حداقل رساندن تصعید آمونیوم و کاهش تلفات آب از سطح خاک می‌شود. این وضعیت باعث افزایش عملکرد محصول و بهبود کارایی مصرف آب می‌گرد (۲۱). حمزه‌ئی و همکاران (۱۱) طی پژوهشی با کاربرد سطوح متفاوت کود اوره (صفر، ۱۳۰، ۲۶۰، ۳۹۰و ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) بر روی گیاه کدو تخم کاغذی مشاهده کردند کم‌ترین و بیش‌ترین کارایی مصرف آب در تولید دانه (به ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۱۷ کیلوگرم بر میلی‌متر) و در تولید میوه (به ترتیب ۴۴/۷۸ و ۶۵/۸۸ کیلوگرم بر میلی‌متر) با کاربرد صفر و ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (به ترتیب) حاصل شد.

تأثیر متقابل آب مغناطیسی و سطوح متفاوت کود اوره بر مقادیر متوسط کارایی مصرف آب و هم چنین روند تغییرات آن (شکل ۶) نشان داد در هر سطح کود اوره کاربرد آب مغناطیسی باعث افزایش متوسط کارایی مصرف آب شد که این افزایش در تیمارهای ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر درصد کود اوره مصرفی معنی‌دار بود. بیش‌ترین افزایش در سطح کود اوره ۲۵ درصد (۴/۱ کیلوگرم بر متر مکعب یا ۳۷/۱ درصد) به دست آمد. روند تغییرات متوسط کارایی مصرف آب نشان داد که در تیمار آب غیرمغناطیسی، با کاهش میزان کود مصرفی، متوسط کارایی مصرف آب نیز کاهش یافت که این کاهش در تیمارهای ۲۵ و صفر درصد کود اوره غیرمعنی‌دار بود اما در تیمار آب مغناطیسی، روند تغییرات افزایش متوسط کارایی مصرف در تیمار ۷۵ درصد کود اوره نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد را نشان داد که نسبت به تیمارهای ۱۰۰ درصد کود اوره آب مغناطیسی و غیرمغناطیسی به ترتیب ۰/۷ و ۲/۷ کیلوگرم بر متر مکعب (۴/۱ و ۱۸/۴ درصد) بیش‌تر شد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، با عبور دادن آب آبیاری از میدان مغناطیسی می‌توان ۲۵ درصد در مصرف کود اوره برای تولید خیار کاهش داد. افخمی (۳) گزارش داد تیمار محلول‌پاشی کود مغناطیسی نسبت به تیمار محلول‌پاشی غیرمغناطیسی سبب افزایش متوسط کارایی مصرف آب در وزن تر و خشک ذرت (به ترتیب ۴ و ۶/۵ درصد) شد.

کارایی مصرف کود اوره

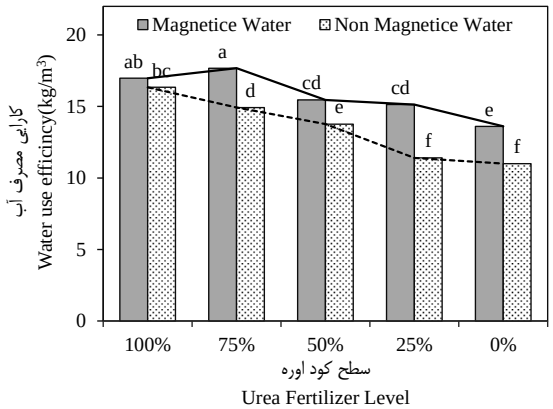
یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد کودآبیاری مغناطیسی به علت اثرات مثبت میدان مغناطیسی بر جذب آب و نیتروژن محلول، باعث افزایش معنی‌دار متوسط کارایی مصرف کود اوره به میزان ۳۰/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم (۱۱۰/۵ درصد) شد (جدول ۵). افخمی (۳) مشاهد کرد که محلول‌پاشی کود مغناطیسی باعث ۴۰ درصد افزایش معنی‌دار کارایی مصرف کود شد.

مقایسه مقادیر میانگین کارایی مصرف کود در سطوح متفاوت کود اوره (جدول ۴) نشان داد بیش‌ترین متوسط کارایی مصرف کود اوره (۵۷/۴ کیلوگرم (اختلاف عملکرد میوه نسبت به شاهد) بر کیلوگرم (کود اوره مصرفی) در تیمار ۲۵ درصد کود اوره و کم‌ترین میانگین کارایی مصرف کود اوره با مقدار ۳۳/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم در تیمار ۱۰۰ نیاز کود اوره حاصل شد. این مقدار در تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد کود اوره به ترتیب ۴۰/۶ و ۴۱/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد. بنابراین بر اساس یافته‌های این آزمایش چنین نتیجه می‌گردد که با وجود افزایش عملکرد میوه خیار با افزایش میزان کود اوره داده شده به آن، ولی کارایی مصرف کود اوره با افزایش میزان کود اوره توزیع شده کاهش یافت. در حالت کلی در این تحقیق، بهترین سطح مصرف کود اوره در تولید خیار، ۷۵ درصد نیاز کود اوره حاصل شد. بر اساس نتایج آزمایش حمزه‌ئی و همکاران (۱۱) بر روی کدو تخم کاغذی، بیش‌ترین و کم‌ترین کارایی مصرف کود اوره در تولید دانه (به ترتیب ۱/۲۴ و ۰/۸۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) با مصرف ۳۹۰ و ۵۲۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار حاصل شد.

نتایج مقایسه میانگین‌های کارایی مصرف کود اوره تحت تأثیر متقابل آب مغناطیسی و سطوح کود اوره و روند تغییرات آن در شکل ۷ آورده شده است. یافته‌های آزمایش نشان داد در هر سطح کود اوره، کاربرد آب مغناطیسی باعث افزایش متوسط کارایی مصرف کود اوره نسبت به آب غیرمغناطیسی شد. اختلاف ایجاد شده بین متوسط کارایی مصرف کود اوره دو تیمار آب، با کاهش سطح کود اوره بیش‌تر گردید که بیش‌ترین اختلاف در سطح ۲۵ درصد کود اوره به میزان ۷۴/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم (۳۶۷ درصد) به دست آمد. هم چنین نتایج نشان داد در تیمار آب غیرمغناطیسی، متوسط کارایی مصرف کود اوره در تمام تیمارهای کودآبیاری اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشت و روند تغییرات از سطح ۱۰۰ درصد کود اوره به ۵۰ درصد، کاهشی با شیب ملایم و از ۵۰ به ۲۵ درصد کود اوره با شیب شدید بود (شکل ۷) که کم‌ترین متوسط کارایی مصرف کود اوره نیز در تیمار ۲۵ درصد سطح کود اوره (۲۰/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) حاصل شد. اما در تیمار آب مغناطیسی روند تغییرات برعکس تیمار آب غیرمغناطیسی بود و از تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره به ۲۵ درصد، مقادیر متوسط کارایی مصرف کود اوره افزایش یافت. بیش‌ترین متوسط کارایی مصرف کود اوره در تیمار آب مغناطیسی، در سطح کود اوره ۲۵ درصد (۹۴/۶ کیلوگرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین کارایی مصرف کود اوره در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره (۳۵/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) به دست آمد (۵۹/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم یا ۱۶۷/۹ درصد افزایش معنی‌دار).

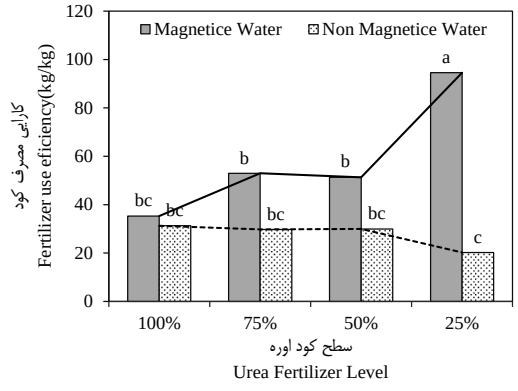
نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر توأمان آب مغناطیسی و کودآبیاری با سطوح متفاوت کود اوره بر عملکرد و کارایی مصرف آب و کود اوره مورد بررسی و پژوهش قرار گرفت. نتایج نشان داد تحت تأثیر تیمار آب مغناطیسی، میانگین سطح برگ، تعداد میوه در بوته، عملکرد خیار، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف کود اوره نسبت به تیمار آب غیرمغناطیسی افزایش معنی‌دار یافت.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر کارایی مصرف آب

Figure 6- Mean comparison of interaction effects of urea fertilizer levels and magnetized water on water use efficiency



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کود اوره و آب مغناطیسی بر کارایی مصرف کود اوره

Figure 7- Mean comparison of interaction effects of urea fertilizer levels and magnetized water on urea fertilizer use efficiency

تیمار گیاهان خیار با سطوح متفاوت کود اوره بر کلیه صفات مورد ارزیابی تأثیر معنی‌داری گذاشت. بر اساس نتایج برهم‌کنش سطوح متفاوت کود اوره و آب مغناطیسی، در هر سطح کود اوره، عبور آب آبیاری از میدان مغناطیسی باعث افزایش میانگین صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش شد. با توجه به نتایج کلی حاصل از این پژوهش، بهترین سطح کودآبیاری با کود اوره در منطقه مورد مطالعه (زنجان) ۷۵ درصد نیاز کودی گیاه خیار به کود اوره حاصل شد که استفاده از میدان مغناطیسی، منجر به افزایش معنی‌دار تأثیر کود اوره استفاده شده، گردید.

منابع

1- AAli J., Nouri M., and Kashi A.K. 2015. Effect of sources and amounts of nitrogen, Urea foliar and Fosamco food solution on yield and growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus*). Journal of Vegetables Sciences 1(1): 37-48. (In Persian with English abstract)
2- Acar B., Paksoy M., Turkmen O., and Seymen M. 2008. Irrigation and nitrogen level affect lettuce yield in greenhouse condition. African Journal of Biotechnology 7(24): 4450-4453.
3- Afkhami M. 2015. Effect of foliar of magnetic fertilizer on yield and water productivity of Maize (Cv. Maxima). M.Sc. thesis in Irrigation and Drainage Engineering, University of Zanjan, Iran. (In Persian with English abstract)
4- Aghaei A.H., and Ehsanzadeh P. 2012. Effect of water deficit stress and nitrogen on yield and some physiological parameters of oilseed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Journal of Horticultural Science 42(3): 291-299. (In Persian with English abstract)
5- Allen R.G., Periera L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper. No.56, Rome. Italy.
6- Beigi S., Golchin A., and Shafiei S. 2011. The effects of different levels of nitrogen and molybdenum in nutrient solution on quantitative and qualitative traits and nitrate concentration of cucumber in hydroponic culture. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 2(2): 37-49. (In Persian with English abstract)
7- Cheikh O., Elaoud A., Ben Amor H., and Hozayn M. 2018. Effect of permanent magnetic field on the properties of static water and germination of cucumber seeds. International Journal of Multidisciplinary and Current Research 6: 108-116.
8- De Souza A., Garcí D., Sueiro L., Gilart F., Porras E., and Licea L. 2006. Pre-Sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. Bioelectromagnetics 27(4): 247-257.
9- Ghanbari S., Kaviani A., and Nouri Ghidari M.H. 2016. Investigation of interaction effects of magnetic water and salinity on cucumber yield (native cultivar of Qazvin). 4th National Conference on Applied Research in Agriculture Science, 18 November, Nikan's High Educational Institute, Tehran, Iran. (In Persian)
10- Hamzei J., and Babaei M. 2017. Response of morphological traits, yield and yield components of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) to the integrated management of irrigation intervals and nitrogen fertilizers. Journal of Crop Production 9(4): 17-35. (In Persian with English abstract)
11- Hamzei J., Babaei M., and Khorramdel S. 2015. Effects of different irrigation regimes on fruit production, oil quality, water use efficiency and agronomic nitrogen use efficiency of pumpkin. Agroecology 7(1):99-108. (In Persian with English abstract)
12- Hashemabadi D. 2017. The activity of superoxide dismutase and peroxidase enzymes under the influence of water and irrigation intervals to ornamental periwinkle. 48(1):49-59. (in Persian with English abstract)
13- Hashemabadi D., and Kashi A. 2004. Effects of different levels of nitrogen and poultry manure on quantitative and qualitative characteristics of autumn growing cucumber. Journal of Water and Soil Science 8(2): 25-33. (In Persian with English abstract)
14- Heidarpour M., Khoshravesh M., and Moshaveri Y. 2016. Effect of magnetized saline water on soil and water amendment in trickle irrigation. Journal of Water and Soil Conservation, 23(2):179-193. (in Persian with English abstract)
15- Hozayn M., and Abdul Qados M.S.A. 2010a. 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.
16- Hozayn M., and Abdul Qados M.S.A. 2010b. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. Agriculture and Biology Journal of North America 1(4): 677-682.
17- Imani M. 2015. Effect of irrigation frequency using magnetized water on yield and water productivity of Maize (Cv. Maxima). M.Sc. thesis in Irrigation and Drainage Engineering, University of Zanjan, Iran. (In Persian with English abstract)
18- Issa F.H., Shanoon R.W. and El Kaaby E.J. 2016. Effect of magnetized water with spraying (Amino Alexine) on growth and yield of (*Cucumis sativus* L.) growth in plastic house. Journal of University of Duhok 19(1): 418-424. (Special Issue).

19- Javaheri Sh., Abdollahian-Noghabi M., Kashani A., Habibi D., and Noshad H. 2011. Determine relationship of leaf chlorophyll concentration and yield using chlorophyll meter in sugar beet. New Finding in Agriculture, 5(4):355-365. (in Persian with English abstract)
20- Karimi A., Homaee M., Moezardalan M., Liaghat A.M., and Raiesi F. 2006. Effect of fertigation on yield and water use efficiency on corn in a tape irrigation system. Journal of Agricultural Science 12(3):561-575. (In Persian with English abstract)
21- Lack Sh., Naderi A., Siadat S.A., Ayenehband A., and Noormohammadi Gh. 2006. Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield and its components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) cv. SC. 704 under different moisture conditions in Khuzestan. Iranian Journal of Crop Sciences 8(2):153-170. (In Persian with English abstract)
22- Maghami R., Zahedi M., and Gheysari M. 2014. Effects of nitrogen application and irrigation water on grain yield and water use efficiency of Safflower in Isfahan. Journal of Crop Production and Processing 4(11): 1-13. (In Persian with English abstract)
23- Mahmoudi Gh., Ghanbari A., Rastgoo M., Gholi Zade M., and Tahmasebi I. 2016. Evaluating the magnetic field effects on growth and yield of Chickpea (*Cicer arietinum*) under Mashhad climatic conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 14(2): 380-391. (In Persian with English abstract)
24- Mohseni A., Mirseyed Hosseini H., and Abbasi F. 2012. Comparison of fertigation with surface broadcast fertilizer method in water, fertilizer use efficiency, yield, component yield of corn and losses of nitrogen. Journal of Water and Soil 26(5): 1181-1189. (In Persian with English abstract)
25- Moradi Marjane E., Banayan Aval M., Rezvani Moghaddam P., and Shabahang J. 2014. Effects of different amounts of nitrogen and plant density on yield, yield components and seed oil percentage of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Agroecology 6(1): 21-30. (In Persian with English abstract)
26- Nikbakht J., and Rezaee E. 2017. Effect of different levels of wastewater and magnetized water on yield and water use efficiency in maize and some of soil physical properties. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(1):63-75. (in Persian with English abstract)
27- Nikbakht J., and Talei A. 2019. Effect of magnetized water on hydraulic properties of tape irrigation system and yield and water use efficiency in maize. Journal of Water and Soil Resources Conversation 8(4): 21-36. (In Persian with English abstract)
28- Nikbakht J., Khandeh Rouyan M., Tavakkoli A., and Taheri M. 2014. Effect of deficit irrigation with magnetized water on yield and water productivity of maize. Journal of Water Research in Agriculture 27(4): 551-563. (In Persian with English abstract)
29- Noshad H., and Khayamim S. 2017. Effect of soil nitrogen on some physiological characteristics and quality of sugar beet. Iranian Journal of Field Crop Science 48(1): 11-24. (In Persian with English abstract)
30- Nweke I.A., and Nsoanya L.N. 2015. Effect of cow dung and urea fertilization on soil properties, growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Journal of Agriculture and Ecology Research International 3(2): 81-88
31- Rafatjoo Gh., Paknejad F., and Nabi Ilkaei M. 2017. Various amounts and methods of application of nitrogen fertilizer on yield parameters of maize. Journal of Agronomy and Plant Breeding 12(4):51-65. (In Persian with English abstract)
32- Rezaei A., Rahimzadeh Khoei F., Jafarzadeh Kenarsari M., Yarnia M., and Ashraf Jafari A. 2015. Response of leave chlorophyll, sink capacity and yield components to the application of Rhizobium and mineral nitrogen in different densities of soybean. Crop Physiology Journal 7(27):21-36. (In Persian with English abstract)
33- Rostamzadeh A., Golchin A., and Mohammadi J. 2013. The Effects of different sources and rates of nitrogen on nitrogen use efficiency and cucumber yield. Water and Soil Science 23(1): 15-26. (In Persian with English abstract)
34- Saeed K.S., Ahmed S.A., Hassan I.A., and Ahmed P.H. 2015. Effect of bio-fertilizer and chemical fertilizer on growth and yield in cucumber (*Cucumis sativus* L.) in green house condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 15(3): 353-358.
35- Servati M., Teimourian N., Bariklou A., and Nazari Sh. 2016. Increasing of water use efficiency and pea yield by fertigation technology. The 6th Iranian Puise Crops Symposium, 28 April, Khorram-Abad, Iran. (In Persian)
36- Shadmehr E., Golchin A., and Shafiey S. 2011. Effects of nitrogen source and amount, and foliar application methods of urea and micronutrients on the yield and growth characteristics in cucumber, *Cucumis sativus* cv. Royal. Agroecology Journal 6(4): 23-33. (In Persian with English abstract)
37- Shahin M.M., Mashhour A.M.A., and Abd-Elhady E.S.E. 2016. Effect of magnetized irrigation water and seeds on some water properties, growth parameter and yield productivity of cucumber plants. Current Science International 5(2): 152-164.
38- Silva P.S.L., Rodrigues V.L.P., de Medeiros J.F., de Aquino B.F., and da Silva, J. 2007. Yield and quality of melon fruits as a response to the application of nitrogen and potassium doses. Revista Caatinga 20(1): 43-49.
39- Zarrabi M.M., Mafakheri S., and Kaviani A. 2017. Comparison of the effect of irrigation with ordinary and magnetic water on morphological and physiological characteristics of corn under drought tension conditions. Crop Physiology Journal 9(35): 39-54. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 675-688

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۶۸۸-۶۷۵

Interaction of Urea Fertilizer and Magnetized Water on Yield and Water and Fertilizer Use Efficiency in Cucumber (*Cucumis sativus* cv. Kish F1)

J. Nikbakht[1*]- V. Eshghi[2]- T. Barzegar[3]- A.R. Vaezi[4]

Received: 11-11-2019
Accepted: 04-04-2020

Introduction: In arid and semi-arid regions such as Iran, water shortage and soil absorbable nutrients deficiency are limiting factors of plants growth. Nutrient deficiencies are compensated by chemical fertilizers. The main issue in fertilizer consumption is to use the optimal amount of fertilizer that increases water and fertilizer use efficiency. One of the newest and most effective approach for efficient use of water in agriculture is to magnetize the irrigation water. For producing magnetized water, it is crossed through a permanent magnetic field. By crossing water through a magnetic field, its physical and chemical properties improve. The aim of current research was, investigating the effect of urea fertigation by magnetized water on yield, water and fertilizer use efficiency in cucumber cv. Kish F1.

Materials and Methods: This study was performed as split plot experiment based on completely randomized block design with three replications from June to November 2018 on cucumber cultivate Kish F1 at the Research Farm of Agricultural Faculty, University of Zanjan, Iran. The treatments consisted nitrogen fertilizer levels at 5 levels from urea source (0%, 25%, 50%, 75% and 100% crop fertilizer requirement) and irrigation water (magnetized and no magnetized water). The treatment of 0% urea fertilizer and no magnetized water were considered as control. For crops irrigation, tape-drip irrigation system was used and for magnetizing of water, an electromagnetic field with 0.1 tesla was used. The crop water requirements were calculated by FAO-Penman-Monteith Approach on a daily basis using on-time weather parameters data of Zanjan Station. The irrigation frequency was 3 days. During the growth period, fertilization was done as fertigation approach on four times (15%, 30%, 30% and 25% of total crop urea fertilizer requirement). The first fertilization was applied 45 days after planting and the rests was carried out as 10-day periods after first fertilization.

Results and Discussion: The effect of urea fertilizer levels were significant at 0.1% level on yield, water use efficiency, number of fruits and leaf area, at 1% on chlorophyll index and at 5% on fertilizer use efficiency. Magnetized water was significant at 0.1% level on the all evaluated traits, except chlorophyll index. Treatment interaction effects were significant on water use efficiency, urea fertilizer use efficiency and number of fruits at 1% and no significant effect on the rest of traits. Compared with control, the highest and lowest increase in mean chlorophyll index were in 75% and 0.0% urea fertilizer level and magnetized water (21.1% and 0.4% respectively). At any urea fertilizer level, mean leaf area in magnetized water treatment was greater than no magnetized water treatment. Maximum and minimum difference between magnetized and not magnetized water treatments were in 25% and 0.0% urea fertilizer level (155.8 and 143.6 cm^2, respectively). Based on treatments interaction, maximum mean of fruits number, achieved in 75% urea fertilizer level-magnetized water (32.8 number). It was 47.7% more than control. Maximum mean of cucumber yields with 50.3 t/ha, were in 75% urea fertilizer level-magnetized water that it increased 17.9, 2 and 3.8 t/ha compared with control, 100% urea fertilizer level-magnetized and no magnetized water, respectively. Results showed that application of magnetized water to irrigate plants, increased water use efficiency. Maximum water use efficiency achieved in 25% urea fertilizer level and magnetized water as much as 17.7 kg/m^3. The trend of variations in mean water use efficiency showed, in no magnetized water, by reducing the application amount of urea fertilizer, averages of water use efficiency decreased but in magnetized water treatment, the trend of variations were incremental from 100% to 75% urea fertilizer level. On results, at each level of urea fertilizer treatment, using magnetized water for plant irrigating, increased mean of fertilizer use efficiency compared no magnetized water treatment. Maximum difference between means of urea fertilizer use efficiency at magnetized and no magnetized water was achieved in 25% urea fertilizer level as 74.3 Kg/Kg (367%). The results also showed, the trend of variations in mean urea

1 and 2- Associate Professor and M.Sc. Graduated of Water Engineering, Department of Water Engineering, Universiry of Zanjan, respectively.
(*- Corresponding Author Email: nikbakht.jaefar@znu.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Universiry of Zanjan
4- Professor, Department of Soil Science, Universiry of Zanjan
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.83971

fertilizer use efficiency at no magnetized water were decreasing from 100% to 25% urea fertilizer level but at magnetized water, the trend was increasing.

Conclusion: based on results of the current research, the optimum urea fertilizer level in Zanjan Region for cucumber is 75% urea fertilizer requirement, which by applying magnetized water to irrigate cucumber plants, mean of yield increases. In this case, in addition to save 25% of urea fertilizer amount, it is also prevented environmental problems.

Keywords: Cucumber, Fertigation, Fertilizer use efficiency, Magnetized water, Water use efficiency