

Lysimeter Study of Water Table Management Impact on Nitrates and Phosphates Leaching and Drainage Water Salinity in Dezful

PARIA SEDIGH¹, ALI AFROUS^{1*}

1. Department of Water Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

(Received: June. 28, 2019- Revised: Jan. 14, 2020- Accepted: Jan. 15, 2020)

ABSTRACT

Today's water table management (WTM) plays an important role in saving water and nutrients such as nitrate and phosphorous and also in improving downstream water quality. However, the use of WTM in hot and dry areas such as Khuzestan may be restricted due to high evapotranspiration and capillary flow. In this study, using plastic lysimeters, the feasibility of using water table control methods (controlled drainage and subsurface irrigation) accomplished with leaching management was investigated in Dezful climate under Tomato cultivar of Kingstone cultivar. For this purpose, three treatments including free drainage, controlled drainage and subirrigation, each in three replications were considered in lysimeters with 90 cm in height and 40 cm in diameter. In this study, the shallow groundwater with salinity of 2.3 dS/m was kept at a depth of 50 cm from the soil surface in the controlled drainage and subirrigation treatments. The results showed that the percentage of salts mass in drainage water of free drainage and controlled drainage treatments were 65 and 45%, respectively. The percentage of NO₃-N and phosphate mass loss in free drainage treatment were 20.9 and 8.1%, respectively that were higher than those in controlled drainage treatment with values of 13.7% and 5.7%. Since, the electrical conductivity in the root zone in subirrigation treatment did not reach to 3 dS/m, additional leaching did not performed in this treatment. Therefore, the results of this study promise the effectiveness of WTM at 50 cm from the soil surface at laboratory scale and in warm and semi-arid areas.

Key words: Controlled drainage, Lysimeter, Salinity, Subirrigation, Tomato,

مطالعه لایسیمتری تأثیر مدیریت سطح ایستابی بر آبشویی نترات، فسفات و شوری در زه آب در دزفول

پریا صدیق^۱ و علی افروس^{۱*}

۱. گروه مهندسی آب، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵)

چکیده

امروزه مدیریت سطح ایستابی نقش مهمی در صرفه جویی آب و اقتصاد کودهای مغذی مانند نیتروژن و فسفر و همچنین بهبود کیفیت آب در پایین دست ایفا می کند، ولی استفاده از این روش ها در مناطق گرم و خشکی مانند خوزستان ممکن است به دلیل تخریب ترعرق زیاد و جریان مویینه ای ایجاد محدودیت نماید. در این تحقیق به وسیله لایسیمترهای پلاستیکی امکان استفاده از روش های کنترل سطح ایستابی (زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی) با اعمال مدیریت آبشویی در اقلیم گرم و خشک دزفول تحت کشت گیاه گوجه فرنگی رقم کینگ استون بررسی گردید. به این منظور سه تیمار با شرایط مختلف کنترل سطح ایستابی شامل زهکشی آزاد، زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در سه تکرار در ۹ عدد لایسیمتر (ارتفاع ۹۰ و قطر ۴۰ سانتی متری) در نظر گرفته شد. در این مطالعه، سطح ایستابی با شوری آب برابر ۲/۳ دسی زیمنس بر متر در عمق ۵۰ سانتی متر از سطح خاک در دو تیمار کنترل سطح ایستابی و آبیاری زیرزمینی ایجاد گردید. نتایج نشان داد که درصد جرم نمک خروجی در زه آب زهکشی آزاد و زهکشی کنترل شده به ترتیب ۶۵ و ۴۵ درصد بود. درصد هدرفت جرمی نیتروژن نترات و فسفات در زه آب تیمار زهکشی آزاد به ترتیب با مقدار ۲۰/۹ و ۸/۱ درصد بزرگ تر از مقادیر مشابه در تیمار زهکشی کنترل شده با مقادیر ۱۳/۷ و ۵/۷ درصد بود. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی (EC) در تیمار آبیاری زیرزمینی در منطقه ریشه فراتر از ۳ دسی زیمنس بر متر نرفت، هیچ گونه شست و شویی در این بخش صورت نگرفت. لذا نتایج این تحقیق امکان کارایی مدیریت سطح ایستابی را در عمق ۵۰ سانتی متری در مقیاس آزمایشگاهی در مناطق گرم و خشک بیان می کند.

واژه های کلیدی: آبیاری زیرزمینی، زهکشی کنترل شده، شوری، گوجه فرنگی، لایسیمتر.

مقدمه

یکی از روش های مدیریتی که به صورت معمول در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب مورد استفاده قرار می گیرد، کنترل سطح ایستابی در زیر عمق توسعه ریشه ها است که به دو صورت زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در زمین های کشاورزی اعمال می شود. در زهکشی کنترل شده خروجی زهکش ها بسته و یا در ارتفاعی بالاتر از لوله های زهکش تنظیم می شود تا آب آبیاری مدت زمان بیشتری در خاک باقی مانده و بتواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد. در آبیاری زیرزمینی آب از طریق لوله های زهکش به داخل پروفیل خاک منتقل شده و باعث ایجاد سطح ایستابی کم عمق برای استفاده گیاه می شود (Ismailnia et al., 2005). مزایای حاصل از این روش ها متعدد بوده که می توان به مواردی از قبیل کاهش زه آب های خروجی، کاهش شستشوی کودها و مواد مغذی از خاک، تأمین رطوبت بیشتر در محیط ریشه ها، کاهش تنش رطوبتی، افزایش تعرق گیاه و در نتیجه افزایش محصول اشاره کرد. تنها راه بهره برداری مفید و مطلوب از زمین ها

که اغلب فاقد زهکشی مناسب نیز می باشند، تقویت و احداث سیستم های زهکشی زیرزمینی است. از این نظر طراحی و اجرای صحیح زهکش ها اهمیت بسیار بالایی دارد و هرگونه نقصی می تواند موجب تجمع نمک در خاک، از دست دادن تدریجی حاصلخیزی خاک و پایین آمدن باردهی محصول شود (2017, Nozari and Azadi). زهکشی کنترل شده یکی از روش های مدیریت سطح ایستابی است که در آن، با کنترل خروجی زهکش ها، ذخیره رطوبت در خاک محفوظ می ماند و تلفات نیتروژن و کودهای شیمیایی از طریق زهکش ها به حداقل می رسد و به این ترتیب، گیاه می تواند در فصل کم آبی از آب و کود ذخیره شده در زمین استفاده نماید. از مزایای این روش می توان به کاهش حجم زه آب تخلیه شده، کاهش تلفات کودهای شیمیایی و در نتیجه آن، کاهش آلودگی محیط زیست، همچنین افزایش تعرق، عملکرد نسبی و کارایی مصرف آب اشاره نمود (Fisher et al., 1999; Skaggs, 2007). Javani Jooni et al., (2018) در تحقیقی به تأثیر زهکشی کنترل شده بر دبی زه آب، سطح ایستابی و بهره وری آب

آب، کاهش حجم زه آب، استفاده مجدد از زه آب و اجرای روش های نوین زهکشی از اقدامات لازم در زهکشی است (Anon, 2010). Liu *et al.* (2009) با انجام زهکشی کنترل شده در مزارع برنج در چین تجزیه و تحلیلی را در خصوص توازن نمک و آب در این ناحیه انجام دادند. این محققین اظهار کردند که زهکشی کنترل شده تحت شرایط تخصیص آبیاری ثابت و معین، ضمن اینکه توازن املاح و شوری را در ناحیه ریشه گیاه در حالت قابل قبولی حفظ می نماید، می تواند از آلودگی های زیست محیطی به طور گسترده ای بکاهد. همچنین این سیستم قادر است میزان زه آب، زمان آبیاری یا عمق آبیاری و مقدار کود به کار برده شده را نیز کاهش داده و پتانسیل ذخیره آب آبیاری را افزایش دهد. *et al.* (2014) Shao *al.* در تحقیقی که در دو سال متوالی به انجام رسید، به این نتیجه دست یافتند که مدیریت تلفیقی زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی توانسته است عملکرد بهتری در مقایسه با زهکشی آزاد معمولی داشته باشد. *et al.* (2016) Rozemeijer به بررسی تغییرات هیدرولیکی و شیمیایی زه آب در زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی مرسوم، در مقیاس کوچک پرداختند. نتایج این تحقیق نشان دهنده این بود که زهکشی کنترل شده علاوه بر این که دبی زهکش را کاهش و ذخیره آب زیرزمینی را افزایش داد، باعث کاهش میزان فسفر در زه آب خروجی نیز شد. نتایج پژوهش *Helmers et al.* (2012) نیز نشان داد که زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی معمول، باعث افزایش راندمان مصرف آب به میزان ۱۱ درصد، افزایش عملکرد ذرت به میزان ۱۴ درصد، کاهش تلفات نیتروژن به میزان ۳۱ درصد شد. *Gowing et al.* (2009) در مصر تحقیقی در خصوص اثرات زهکشی کنترل شده بر کمیت و کیفیت آب خروجی زهکش ها در محصول نیشکر انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان خروجی کل زهکش های کنترل شده، در فصل تابستان به میزان ۱۸ درصد و در فصل زمستان ۲۸ درصد نسبت به زهکشی آزاد کاهش یافت. نتایج تحقیق *Shouse et al.* (2010) نشان داد که شوری و نسبت جذبی سدیم در تیمارهای زهکشی کنترل شده تغییر قابل ملاحظه ای بین ابتدا و انتهای دوره وجود نداشت. *Akram et al.* (2013) در پژوهشی بیان کردند که نگرش سنتی حاکم بر طراحی سامانه های زهکشی هدف این عملیات را تنها افزایش عملکرد گیاه و بهبود شرایط محیط رشد دانسته و اثرات زیست محیطی طرح های زهکشی را کمتر مورد توجه قرار می دهد که امروزه این نگرش، جایگاه خود را از دست داده است. *Hassanoghli et al.* (2015) زهکشی کنترل شده یکی از روش های مدیریت سطح ایستابی است که دارای مزایای زیادی از جمله کاهش حجم زه آب تخلیه شده، کاهش تلفات کودهای شیمیایی از

در دشت مغان پرداختند که در این پژوهش سامانه زهکشی کنترل شده در اراضی دشت مغان با هدف کاهش حجم زه آب خروجی، مدیریت بهتر سطح ایستابی و افزایش بهره وری آب آبیاری در محصولات ذرت و گندم به اجرا درآمد. این بررسی در زمینی به مساحت ۴۴ هکتار در قالب سه تیمار شامل زهکشی آزاد و زهکشی کنترل شده با عمق کنترل ثابت ۴۰ سانتی متر و زهکشی کنترل شده با عمق متغیر در دوره رشد گیاه در سه تکرار صورت گرفت. نتایج نشان داد با اجرای سامانه زهکشی کنترل شده، علاوه بر کاهش زه آب خروجی، از میزان خسارات زیست محیطی ناشی از زه آب در مزارع پایین دست نیز کاسته می شود. *Madramootoo et al.* (2007) در تحقیقی نشان دادند که تولید محصول از سیستم های زهکشی کنترل شده می تواند تا ۱۰ درصد و بالاتر از سیستم های زهکشی آزاد بیشتر گردد. *Mahjoubi et al.* (2012) در تحقیقی به بررسی آثار زهکشی کنترل شده بر شوری خاک، مدیریت آبیاری و عملکرد نیشکر پرداختند. یافته های این تحقیق نشان می دهد که استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده سبب صرفه جویی در مصرف آب، کاهش حجم زه آب خروجی، کاهش میزان شوری زه آب و مقدار نمک خروجی خواهد شد. *Ismailnia et al.* (2005) در تحقیقی به بررسی مطالعه لایسیمتری روش های مدیریت سطح ایستابی در آبیاری گوجه فرنگی پرداخت، نتایج نشان داد که امکان استفاده از این روش ها در شرایط خشک و نیمه گرم کرج امکان پذیر است. *Ramezanimoghadam et al.* (2014) در تحقیقی ارزیابی لایسیمتری تأثیر تنش آبی و کود نیتروژن بر گیاه ذرت در شرایط سطح ایستابی کم عمق پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از آبیاری زیرزمینی علاوه بر کاهش حجم زه آب خروجی از لایسیمترها، عملکرد محصول نیز افزایش یافته است. بنابراین مدیریت سطح ایستابی ضمن افزایش سودآوری منجر به کاهش بار آلودگی منابع آب خواهد شد. *et al.* (2005) Elmi در Quebec کانادا تحقیقی را بر روی تأثیر مدیریت سطح ایستابی در کاهش نیترات خروجی از پروفیل خاک انجام دادند. نتیجه این تحقیق نشان داد که میزان تلفات نیترات خروجی از پروفیل خاک در عمق ۷۵ سانتی متر در تیمار زهکشی کنترل شده به طور متوسط ۵۰ درصد از مقدار مشابه در زهکشی آزاد کمتر بود. نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که زهکشی میان فصل به عنوان یکی از روش های مدیریت آب در اراضی شالیزاری، نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج و افزایش کارایی مصرف نیتروژن دارد *Jia and Evans., (Darzi-Naftchali and Shahnazari, 2014)* (2006) زهکشی زیستی و زهکشی کنترل شده را به عنوان بهترین راهکار مدیریتی برای کاهش ریسک انتقال مواد غذایی به آب های سطحی دانستند. مدیریت سطح ایستابی، افزایش کارایی مصرف

و عملکرد گوجه است.

مواد و روش‌ها

محل انجام آزمایش

آزمایشات مربوط به این تحقیق در لایسیمترهایی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، در شهرستان دزفول با عرض جغرافیایی "۱۶' ۳۲" و طول جغرافیایی "۲۵' ۴۸" و ارتفاع ۱۴۰ متر از سطح تراز دریا انجام گردید. از نظر اقلیمی این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. این آزمایش از تاریخ ۱۳۹۷/۵/۱۴ تا ۱۳۹۷/۹/۱۵ روی گیاه گوجه‌فرنگی رقم کینگ‌استون انجام شد. خاک مورد استفاده در این مطالعه دارای بافت لومی‌سیلتی بود.

تیمارهای آزمایشی

در این تحقیق از ۹ لایسیمتر از جنس PVC به قطر ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر برای کاشت محصول و اعمال تیمارها استفاده شد. سه تیمار آبیاری زیرزمینی (SI)^۱، زهکشی کنترل-شده (CD)^۲ و زهکشی آزاد (FD)^۳ در سه تکرار در نظر گرفته شد که بر روی یک سکوی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر قرار گرفتند (شکل ۱). با توجه به محدودیت عمق لایسیمترها (۹۰ سانتی‌متر) و با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه گیاه گوجه، سطح ایستایی در ۵۰ سانتی‌متر از سطح خاک تنظیم گردید. در تیمار زهکشی آزاد آبیاری از سطح خاک انجام شد و خروجی زهکش آزاد بود. در تیمار زهکشی کنترل‌شده آبیاری از سطح انجام گرفت اما خروجی زهکش به کمک اتصال زانو در عمق ۵۰ سانتی‌متری تنظیم شد (شکل ۲). در نتیجه آب آبیاری در خاک ذخیره و مازاد آن از رایزر خارج می‌شد. در تیمار آبیاری زیرزمینی آبیاری از سطح انجام نمی‌شد، بلکه آب از طریق یک منبع به مخزن تنظیم ارتفاع منتقل می‌شد و از طریق آن به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری زهکش‌ها می‌رسید، به طوری که عمق سطح ایستایی ثابت شد و در ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک برقرار گردید (شکل ۳). برای ثابت نگه داشتن سطح ایستایی در تیمارهای زهکشی کنترل‌شده و آبیاری زیرزمینی از لوله PVC به قطر ۵ سانتی‌متر به عنوان رایزر استفاده شد. یک لوله شفاف عمودی به قطر ۲ میلی‌متر نیز در کنار لایسیمتر نصب شده بود و نقش پیژومتر را داشت. همچنین به منظور جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون لوله‌های زهکش از صافی یا فیلتر مناسب در اطراف لوله زهکش استفاده شد.

اراضی کشاورزی و به تبع آن کاهش آلودگی محیط زیست، افزایش تعرق گیاهی، افزایش عملکرد نسبی محصول و ارتقاء کارایی مصرف آب است. نتیجه این نیز تحقیق که در یک منطقه با اقلیم گرم انجام شده است، این نتایج را تأیید نموده است. Molavi *et al.*, (2011) به بررسی کنترل شوری و تلفات نیترات در زه‌آب تحت مدیریت سطح ایستایی پرداختند که در تیمار زهکشی کنترل شده در مقایسه با تیمار آزاد جذب نیتروژن گیاه افزایش داشته و عملکرد بالاتر محصول را منتج شده است. همچنین در انتهای فصل رشد اگرچه تجمع نمک بیشتری در پروفیل خاک در تیمارهای زهکشی کنترل‌شده به سبب فقدان آبشویی مشاهده شد ولی این امر می‌تواند با آبشویی املاح در خارج از فصل رشد مدیریت شود. Creze and Madramootoo, (2019) در بررسی روش‌های مدیریت سطح ایستایی شامل زهکشی کنترل‌شده و آبیاری زیرزمینی و در شرایط مزرعه‌ای تحت کشت ذرت، دریافتند که این روش‌ها، ضمن افزایش کارایی مصرف آب و کود، منجر به کاهش تصعید گازهای خطرناکی مانند دی‌اکسید کربن، اکسید ازت و متان می‌گردد. بنابراین این روش‌ها در بهبود شرایط محیطی در راستای توجه به محیط زیست مؤثر هستند. در نگرش نوین لازم است علاوه بر اهداف کشاورزی، اهداف زیست‌محیطی و به‌ویژه، مخاطرات ناشی از تخلیه زه‌آب‌هایی با کیفیت نامطلوب به محیط زیست را نیز مورد توجه جدی قرار داد. با توجه به این‌که در بیشتر نقاط خوزستان و بخش‌هایی از شمال غرب خوزستان سطح آب زیرزمینی شور و لب‌شور بالا می‌باشد که بخش‌هایی از طرح شبکه‌بندی و احیای ۵۵۰ هکتاری اخیراً در کشور نیز دارای این خصوصیت می‌باشد، انجام چنین تحقیقی می‌تواند با استفاده از روش‌های مدیریت کنترل سطح ایستایی را مورد بررسی قرار دهد. مرور نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از سامانه زهکشی کنترل‌شده در مناطق گرم و خشک امکان‌پذیر است و اجرای آن فوائد زیادی در بر خواهد داشت. البته بسته به شرایط آب و هوا، خاک و نوع گیاه، تأثیر مدیریت سطح ایستایی روی میزان کاهش مصرف آب، تغییرات شوری خاک و عملکرد محصول متفاوت است و اجرایی کردن این سیستم مستلزم تحقیق در مورد آن منطقه هست.

هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده از زهکشی کنترل‌شده و آبیاری زیرزمینی برای محصول گوجه‌فرنگی در اقلیم گرم و خشک دزفول و تأثیر آن بر میزان صرفه‌جویی در مصرف آب، تغییرات شوری خاک و میزان جذب و تخلیه فسفات و نیترات



شکل ۲- تصویری از محل قرارگیری شیلنگ‌های زهکش



شکل ۱- محل قرارگیری لایسیمترها



شکل ۳- نمای سیستم آبیاری زیرزمینی

تیمارهای آبیاری زیرزمینی نیز همواره به منبع آب متصل بودند. در ابتدای فصل کشت به دلیل عمق کم ریشه‌ها آبیاری در تمام تیمارها به یک اندازه و به صورت سطحی انجام شد. پس از استقرار گیاه و افزایش عمق ریشه‌ها، تیمارهای آبیاری (روز ۳۷ پس از کاشت) اعمال گردید.

$$EC_e = 1.5 EC_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه فوق EC_e : حد شوری آستانه برای کاهش نیافتن محصول و EC_i : شوری آب آبیاری هستند.

مقدار آب آبیاری و سنجش پارامترها

نیاز آبی گوجه‌فرنگی بر اساس روش پنمن مانیتیت اصلاح شده محاسبه گردید. مقدار آب آبیاری برای هر لایسیمتر با توجه به رابطه (۲) محاسبه و معادل ۶/۵ لیتر برای شروع آزمایش به دست آمد.

$$In = (FC - PWP) \times MAD \times Drz \quad (\text{رابطه ۲})$$

اعمال شوری

گیاه کاشته شده گوجه‌فرنگی بود که از نظر مقاومت به شوری در گروه گیاهان نیمه‌مقاوم محسوب می‌شود. شوری آستانه کاهش محصول ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط کاهش عملکرد ۹/۹ درصد به ازاء هر واحد شوری است (Alizadeh, 2002). از طرفی، عمق ریشه‌های آن نسبتاً زیاد است و در شرایط مناسب به ۱ تا ۱/۲ متر نیز می‌رسد (Esmaeili et al., 2005). در نتیجه، بودن یا نبودن سطح ایستابی در تیمارهای مختلف می‌تواند بر رشد ریشه گیاه تأثیرگذار باشد.

شوری آب آبیاری و آب زیرزمینی در تیمارهای آبیاری برابر ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر با توجه به رابطه (۱) در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2010). در این مطالعه دور آبیاری نیز سه روز بود. آبیاری در تیمارهای زهکشی آزاد و زهکشی کنترل شده از سطح اجباری و آب مورد نیاز از رابطه پنمن مانیتیت محاسبه شد.

دوم روز پنجاهام رشد ۶ گرم فسفر به خاک اضافه شد. پارامترهای مورد اندازه‌گیری شوری، نیترات و فسفات زه‌آب خروجی و همچنین حجم زه‌آب در تیمار زهکشی کنترل‌شده و آبیاری زیرزمینی بود که در کنار هر یک از لایسیمترها و در زیر خروجی زهکش آن‌ها، یک ظرف پلاستیکی قرار داده شده بود. از طریق انتهای لوله زهکش به ظرف نمونه‌برداری زه‌آب تخلیه می‌گردید. به‌منظور جلوگیری از تبخیر نمونه‌های زه‌آب سریعاً در مدت زمان کمتر از ده ساعت بعد از آبیاری جمع‌آوری و حجم و کیفیت آن اندازه‌گیری می‌گردید.

In: حجم آب موردنیاز، FC: حد ظرفیت زراعی، PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم، MAD: حداکثر تخلیه مجاز گوجه‌فرنگی با مقدار تقریبی ۰/۵ و Drz: عمق توسعه ریشه گیاه معادل ارتفاع لایسیمتر ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Dehghan et al., 2015).

میزان کود نیترات (کود سفید اوره) و فسفات (کود سیاه) با توجه به اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی اولیه خاک و مشاوره با کارشناس تغذیه خاک و گیاه به صورت سطحی در اختیار گیاه قرار داده شد. در جدول (۲) مقدار و زمان کود دهی ذکر شده است. مرحله اول کوددهی به صورت پایه ۱۳ گرم فسفر و مرحله

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	نیترژن (میلی‌گرم در لیتر)	فسفر (میلی‌گرم در لیتر)	پتاسیم (میلی‌گرم در لیتر)	FC (درصد)	PWP (درصد)
۳۰-۰	لومی رسی	۱/۲۵	۷/۶	۰/۷۴	۷۸۰	۱۰/۳	۱۲۷	۳۱	۱۶/۳
۳۰-۶	لومی رسی سیلتی	۰/۳۷	۷/۸۵	۰/۴۲	۵۷۰	۱/۲	۸۶	۳۳/۴	۱۸/۱

جدول ۲- مقدار کود مصرفی در تیمارهای مورد آزمایش

دوره رشد	به‌صورت پایه	روز اول	روز پنجاهام	روز شصت و دوم
نیترژن نیتراتی (گرم)	۰	۱	۴	۶
فسفات (گرم)	۱۳	۰	۶	۰

مرداد بذرها در گلخانه کشت گردید و برای تبدیل شدن به نشا تا ۴ شهریور (۲۰ روز) نگهداری گردید. سپس نشاها به لایسیمترها منتقل شده و تا دو هفته بعد از کشت نشاها، همه لایسیمترها از سطح خاک و به اندازه نیاز آبی گیاه و بدون اضافه کردن شوری آبیاری گردید تا بوته‌ها در محیط کشت جدید تثبیت شوند. تاریخ شروع آزمایش‌ها از ۲۱ شهریور (روز ۳۷ از شروع کشت) بود و در هر سه تیمار، نمونه‌برداری‌ها بعد از هر آبیاری صورت می‌گرفت و در مجموع بعد از اعمال تیمارها ۱۱ مرحله نمونه‌برداری انجام شد. زه‌آب در ظرف‌های پلاستیکی که در کنار هر لایسیمتر قرار داشت جمع‌آوری می‌گردید، با این تفاوت که در تیمار آبیاری زیرزمینی به دلیل حجم خیلی کم و ناچیز زه‌آب، صرفاً از طریق شیلنگ‌های مخصوص که به‌صورت پیرومتر به بدنه لایسیمتر نصب گردیده بود، نمونه‌برداری انجام شد، ولی حجم زه‌آب ثبت نشد. در مراحل اولیه هر سه روز یک بار آبیاری انجام می‌شد، ولی کم‌کم با نزدیک شدن به گل‌دهی دور آبیاری به ۴ و ۵ روز یک‌بار بر اساس ظرفیت ذخیره آب خاک و نیاز آبی گیاه، تغییر داده شد چون در آبیاری‌های اول با کاهش راندمان آبیاری سعی شد تا سطح ایستابی در خاک بالا بیاید (به‌وسیله پیرومتر)، ولی در آبیاری‌های آخر با توجه

شوری با دستگاه ECسنج رومیزی مدل WTW، پارامترهای نیترات و فسفات نیز با دستگاه قابل حمل اسپکتروفوتومتر مدل DR-1900 ساخت کمپانی Hach اندازه‌گیری گردید. با توجه به حساسیت گیاه در مراحل اولیه (مرحله جوانه‌زنی) آبیاری با آب آشامیدنی لوله‌کشی شهری با هدایت الکتریکی ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر صورت گرفت. از روز ۳۷ کشت بذر گوجه شروع شد. در یازده مرحله‌ی آخر، آبیاری با آب‌نمک به هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر صورت گرفت و پارامترها اندازه‌گیری شدند. همچنین میزان جرم نیترات، فسفات و نمک نیز از حاصل‌ضرب حجم زه‌آب بعد از هر آبیاری در میانگین غلظت نیترات، فسفات و نمک در هر آبیاری محاسبه گردید. میزان هدررفت جرمی نیز از تقسیم جرم خروجی به جرم ورودی به لایسیمترها محاسبه شد.

کاشت گوجه‌فرنگی و اعمال تیمار

قبل از شروع آزمایش‌ها اصلی و تنظیم سطح ایستابی در تیمارهای زهکشی کنترل‌شده، زهکشی آزاد و آبیاری زیرزمینی در همه لایسیمترها آبیاری از سطح خاک به یک میزان انجام شد. از ۱۴

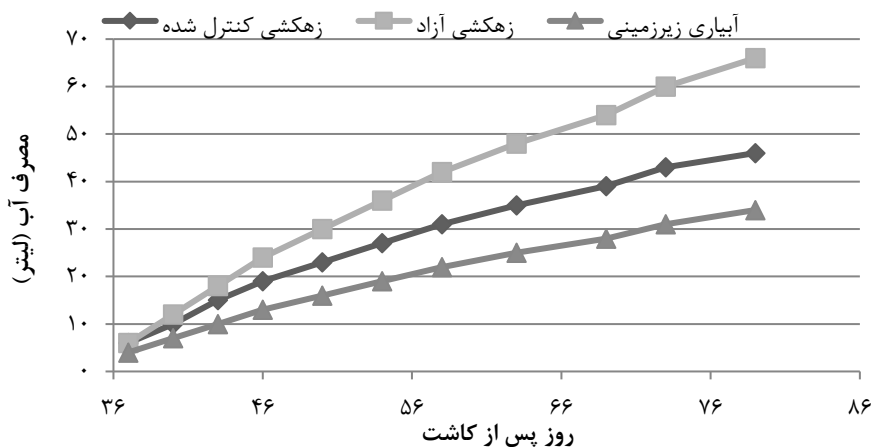
زیرزمینی کم عمق برای گیاه بهتر فراهم گردیده بود. در خصوص میزان صرفه جویی آب در تیمارهای آبیاری زیرزمینی باید به این نکته اشاره نمود که بخشی از صرفه جویی در مصرف آب، مربوط به اعمال مدیریت آبیاری در مزارع کنترل شده و جلوگیری از بیش آبیاری و بخش دیگری از آن نیز مربوط به نگهداشت و کنترل سطح ایستابی و کاهش میزان خروجی زهاب بود که سبب نگهداری بهتر رطوبت خاک در تیمارهای آبیاری زیرزمینی و کنترل شده نسبت به تیمار زهکشی آزاد بود و امکان استفاده از صعود موئینگی توسط گیاه فراهم شده و گیاه قسمتی از نیاز تبخیر و تعرق خود را مستقیماً از آب زیرزمینی تامین کرد (Mahjoubi et al., 2012). در تیمارهای زهکشی کنترل شده، با توجه به امکان تأمین کمبود رطوبت خاک از طریق صعود موئینگی و جذب آب به وسیله گیاه در حد پتانسیل یا بالقوه، مصرف آب را می توان معادل تبخیر تعرق پتانسیل در نظر گرفت. برخلاف آن در شرایط زهکشی آزاد، آبیاری از سطح خاک تنها در حد گنجایش و ظرفیت خاک است و گیاه برای جذب آب به مرور زمان و قبل از آبیاری بعدی با کمبود رطوبت در خاک مواجه می شود. در نتیجه میزان جذب را در این شرایط نمی توان در حد پتانسیل دانست، در حالی که در شرایط زهکشی کنترل شده چنین محدودیت هایی وجود ندارد و به مجرد اینکه رطوبت خاک در بالای سطح ایستابی در اثر جذب گیاه کاهش می یافت، در اثر اختلاف پتانسیل ایجاد شده کمبود رطوبت از طریق صعود موئینگی آب از سطح ایستابی جبران می شد؛ بنابراین می توان استنباط کرد که گیاه توانسته است در حد بالقوه آب جذب کند که با نتایج تحقیقات (Mahjoubi et al., 2012) و SharifiMood et al. (2010) مطابقت دارد.

به بالا بودن دور آبیاری با کاهش تبخیر تعرق و نیاز آبی و مشاهده افزایش خروجی زهکش ها، مقدار آب آبیاری با در نظر گرفتن راندمان کاربرد ۹۰ درصد برای تمام تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. اما در تیمار آبیاری زیرزمینی، آبیاری از سطح خاک صورت نگرفت. تنها منبع تأمین نیاز آبی در این تیمار، منابع آبی بود که به زهکش ها متصل بود و از طریق ایجاد سطح ایستابی و از طریق یک شیلنگ آب در اختیار ریشه های گیاه قرار می گرفت که برای ثابت نگه داشتن سطح آب از شناورها استفاده می گردید.

نتایج و بحث

مقدار آب مصرفی

در شکل (۴) میزان تجمعی آب مصرفی در تیمارهای مورد بررسی نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل (۴) میزان تجمعی آب مصرفی از روز ۳۷ام پس از کاشت تا پایان آزمایش روند صعودی داشته است. نتایج نشان می دهد که میزان آب مصرفی در تیمار زهکشی آزاد بیشتر از زهکشی کنترل شده است. ولی مقدار مصرف آب در تیمار آبیاری زیرزمینی بسیار کمتر از مقدار آب مصرفی در تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده می باشد. مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری زیرزمینی در دوره آزمایشی، به طور متوسط ۶۵ درصد مقدار مصرف شده در تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده بوده است و این به معنای ۳۵ درصد صرفه جویی در مصرف آب با این روش می باشد. بیشترین میزان صرفه جویی مصرف آب در تیمارهای آبیاری زیرزمینی و سپس زهکشی کنترل شده نسبت به تیمار زهکشی آزاد طی ماه های مهر تا آذر اتفاق افتاد؛ یعنی زمانی که ریشه های گوجه فرنگی به خوبی رشد و توسعه یافته و امکان استفاده از آب



شکل ۴- مصرف آب تجمعی در تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده در مقایسه با آبیاری زیرزمینی در طی یازده مرحله آخر آبیاری

می دهد که بین آب مصرفی زهکشی آزاد با ۱۳۵^a لیتر و زهکشی کنترل شده با ۱۲۲^a لیتر تفاوت معنی داری بین آن ها وجود ندارد

عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب با استفاده از آزمون دانکن ($P \leq 0.05$) نشان

در تیمار زهکشی کنترل شده ۳ لیتر بوده است. بالا بودن دبی زه آب خروجی در تیمار زهکشی آزاد می تواند به دو دلیل باشد. زهکشی عمق بیشتری از نیمرخ خاک نسبت به دو تیمار آبیاری زیرزمینی و زهکشی کنترل شده و نیز وجود درز و ترک و جریانات ترجیحی در برخی از نواحی محیط کشت که باعث می شود مقدار قابل توجهی از آب آبیاری بلافاصله و بدون اثر بخشی در تیمار زهکشی آزاد از دسترس گیاه خارج شود. همین امر باعث می شود آب از محدوده عمق توسعه ریشه گیاه خارج شده و علاوه بر خروج مقادیر بیشتر زه آب، تا حدودی به گیاه تنش وارد شود. نگهداشت آب در بالای لوله زهکش در تیمارهای کنترل سطح ایستابی از بروز دو مسئله فوق جلوگیری می کند. بنابراین نوسانات میزان زه آب تولیدی در هر نوبت آبیاری نیز به میزان آب آبیاری مصرفی برمی گردد. نتایج به دست آمده با نتایج تحقیق Javani et al. (2018) و Hornbuckle et al. (2005) مطابقت دارد.

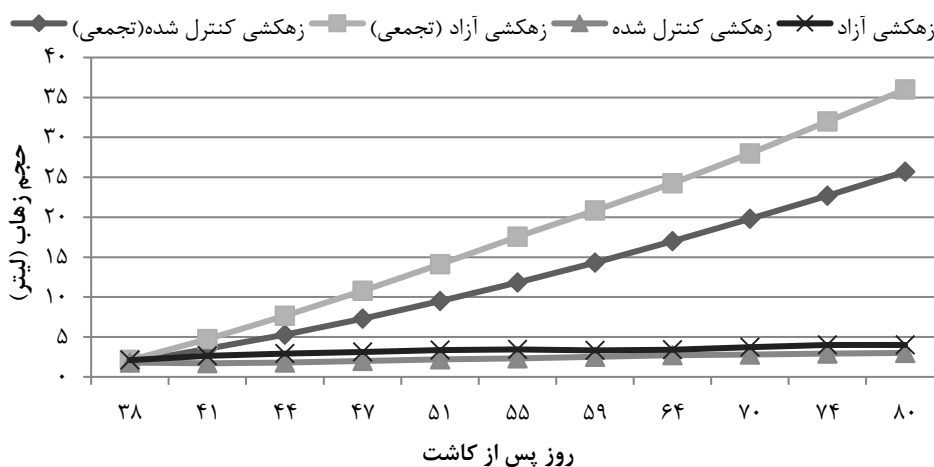
جدول ۳- تاثیر مدیریت سطح ایستابی بر آب مصرفی، عملکرد و کارایی مصرف آب (آزمون دانکن)

مدیریت سطح آب	میزان آب مصرفی (لیتر)	عملکرد (کیلوگرم در مترمربع)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم به مترمکعب)
زهکشی آزاد	۱۳۵ ^a	۱/۵۲ ^c	۱۱/۲۶ ^c
زهکشی کنترل شده	۱۲۲ ^a	۲/۱۷ ^a	۱۷/۷ ^b
آبیاری زیرزمینی	۷۸ ^b	۱/۹۴ ^b	۲۴/۸ ^a
آزمون دانکن	P ≤ 0.05	P ≤ 0.01	P ≤ 0.01

(شکل ۳) ولی آب مصرفی آبیاری زیرزمینی با ۷۸^b لیتر با دو تیمار دیگر تفاوت معنی داری دارد. بنابراین با توجه به کارایی مصرف آب زهکشی آزاد (۱۱/۲۶^c)، زهکشی کنترل شده (۱۷/۷^b) و آبیاری زیرزمینی (۲۴/۸^a) کیلوگرم به متر مکعب، تفاوت معنی داری بین هر سه تیمار وجود دارد و کارایی مصرف آب در آبیاری زیرزمینی بیشتر است. با توجه به جدول (۳) و با استفاده از آزمون دانکن ($P \leq 0.01$) بین سه تیمار تفاوت معنی داری مشاهده گردید. به طوری که عملکرد محصول در زهکشی کنترل شده با میزان ۲/۱۷^a کیلوگرم در مترمربع بیشتر از دو تیمار دیگر است و بعد از آن تیمار آبیاری زیرزمینی با ۱/۹۴^b و زهکشی آزاد با ۱/۵۲^c کیلوگرم در مترمربع در رده های بعدی قرار دارند.

حجم زه آب ها

در شکل (۵) مشاهده می شود که در تیمار زهکشی کنترل شده بعد از آبیاری اول زه آب از زهکش ها خارج نشده است. این امر به دلیل ذخیره آب آبیاری در آبیاری اول در لایسیمترهای تیمار زهکشی کنترل شده بوده و به علت تنظیم سطح ایستابی، آب اضافه در خاک ذخیره می گردید. در آبیاری های بعدی زیر عمق ۵۰ سانتی متر رطوبت بیشتری در فواصل بین دو آبیاری ذخیره شده و بنابراین مقداری از آب آبیاری که اضافه است از زهکش ها خارج شد. همان طور که در شکل (۵) مشاهده می شود تقریباً از آبیاری سوم مقدار زه آب در تیمار زهکشی کنترل شده نسبت به تیمار زهکشی آزاد کمتر می شود. میزان دبی خروجی از زهکش ها در تیمار زهکشی آزاد همواره بیش از سایر تیمارها بوده است. بیشترین زه آب خروجی در تیمار زهکشی آزاد برای گوجه فرنگی ۴ لیتر بوده است. این در حالی است که بیشترین میزان دبی زه آب



شکل ۵- متوسط میزان زه آب و زه آب تجمعی خروجی در طی یازده آبیاری آخر در تیمارهای زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی

زیرزمینی اندازه گیری شد. با توجه به شکل (۶) متوسط EC آبیاری زیرزمینی ۲ دسی زیمنس بر متر (متوسط ۳ تکرار) بود که نشان می دهد در عمق ۵۰ سانتی متری خاک شوری کاهش یافته

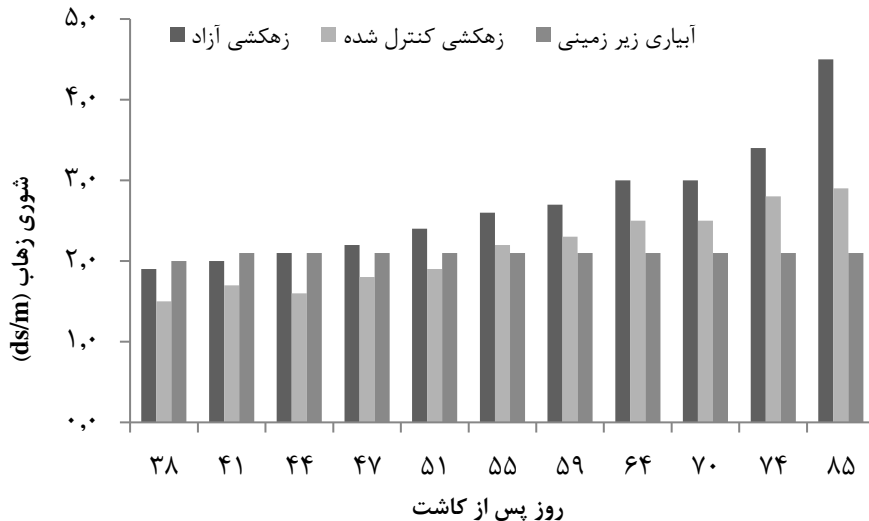
شوری زه آب

۳۳ نمونه طی ۱۱ مرحله نمونه برداری از هر سه تیمار آبیاری

از بین می‌رود. ضمن اینکه علاوه بر کاهش تنش شوری، تنش خشکی (رطوبتی) نیز کاهش می‌یابد. آب‌شویی در تیمار آبیاری زیرزمینی از سطح خاک اجرا نشد زیرا در طول فصل کشت در وضع ظاهری گیاه (رشد هوایی، گلدهی و غیره) تفاوت عمده‌ای در بین تیمارها مشاهده نشد (El-Ghannam *et al.*, 2016). Mansouri *et al.* (2006) در تحقیقاتی به بررسی شوری زه‌آب پرداختند. نتایج آنان حاکی از آن بود که با کنترل سطح ایستابی و مدیریت‌های مختلف آب و آب‌شویی می‌توان میزان کاهش عملکرد محصول بر اثر شوری را کاهش داد.

یکی از مسائلی که ممکن است ایجاد مشکل کند بارندگی-های پایان فصل و در نتیجه انتقال املاح به محیط ریشه است که تنش شدیدی به گیاه وارد می‌کند. اما در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک بارندگی‌های کمتر رخ می‌دهد ضمن آنکه مقدار آن نیز بسیار کم است. به‌علاوه در آبیاری قطره‌ای نیز این مشکل در هر زمان از فصل، خطر تنش را برای گیاه خواهد داشت. اما در آبیاری زیرزمینی این مشکل تنها در هفته‌های پایانی وجود دارد که امکان دارد شوری خاک افزایش یابد.

است و شوری در تیمارها از ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر، که حد آستانه تحمل به شوری گیاه گوجه فرنگی است، تجاوز نمی‌کند. به این دلیل آب‌شویی املاح در فصل زراعی انجام نشد. مقایسه‌ی تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل‌شده نشان می‌دهد که EC زه-آب‌ها در تیمار زهکشی کنترل‌شده کمتر از تیمار زهکشی آزاد بوده که در شکل (۶) نمایان شده است. شوری زه‌آب در زهکشی آزاد حداکثر تا ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر صعود کرد ولی در زهکشی کنترل‌شده از ۳ دسی‌زیمنس بر متر بیشتر نشد. با توجه به جبهه-ی رطوبتی و به دنبال آن جبهه‌ی نمک، چون پروفایل خاک در ابتدا یکنواخت است با شروع اعمال تیمارها ابتدا رطوبت و نمک به عمق ۵۰ سانتی‌متری می‌رسد و پس از آن در سراسر دوره، با حرکت آب و نمک به سمت بالا و تأثیر تبخیر از سطح خاک، املاح به سمت بالا و سطح خاک حرکت می‌کند (Esmaelnia *et al.*, 2005). با توجه به رطوبت خاک که در تیمار آبیاری زیرزمینی همواره بیشتر از دو تیمار دیگر بود، غلظت نمک در آن کمتر از تیمار زهکشی کنترل‌شده و در تیمار زهکشی کنترل‌شده کمتر از زهکشی آزاد است. در نتیجه، با افزایش پتانسیل ماتریک خاک در اثر رطوبت بیشتر، تأثیر نمک در کاهش پتانسیل اسمزی



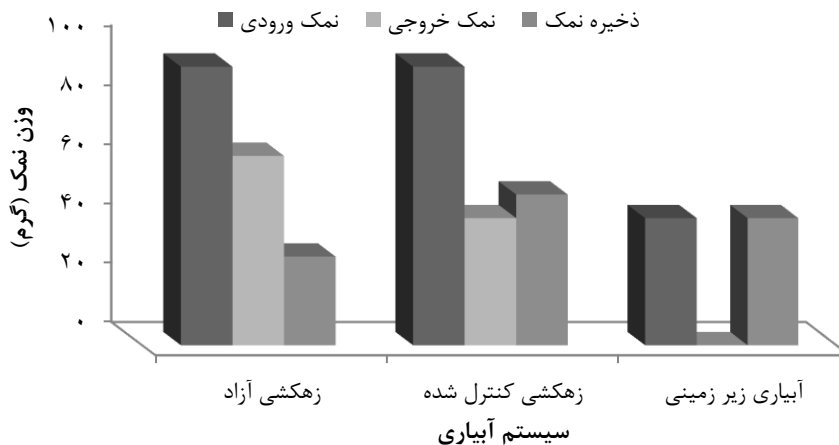
شکل ۶- متوسط شوری زهاب در تیمارهای زهکشی آزاد، کنترل‌شده و آبیاری زیرزمینی

از آن در تیمار زهکشی کنترل‌شده به میزان ۴۳ گرم بوده است. اختلاف بین نمک ورودی و خروجی میزان نمکی است که در طول تاریخ اعمال آب‌شور در محیط کشت باقی‌مانده است. در آبیاری زیرزمینی چون آب‌شویی صورت نگرفت همان مقدار نمک داده‌شده ذخیره گردید. با توجه به مقدار شوری زه‌آب و شوری آب آبیاری، در کل ذخیره نمک در لایسیمترهای مدیریت سطح ایستابی بیشتر از لایسیمترهای زهکش آزاد بوده است. با توجه به

ذخیره نمک: با استفاده از مقدار حجم آب ورودی و خروجی از هر تیمار، بیلان آب و املاح در خاک هر تیمار مشخص شد. به خاطر اینکه از روز ۳۷ام آبیاری زیرزمینی با آب‌شور انجام شد، بیلان املاح از همین زمان نیز محاسبه گردید. نمودار شکل (۷) بیلان املاح در تیمارهای آزمایشی را در زمان شروع آبیاری با آب شور نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بیشترین جرم نمک تخلیه‌شده از خاک مربوط به زهکشی آزاد با میزان ۶۴ گرم و بعد

که نتیجه گرفتند سامانه زهکشی کنترل شده به نحو بهتری میزان زه آب خروجی را کنترل و از خروج نمک جلوگیری کرده است، در این پژوهش نیز حجم نمک شسته شده کمتر از حجم نمک ورودی بوده است.

اینکه مقدار آب مصرفی در تیمار آبیاری زیرزمینی حدود ۵۰ درصد مقدار مصرف شده در دو تیمار دیگر بوده و تنها منبع ورودی نمک در خاک، آب آبیاری با هدایت الکتریکی ۲/۳ دسی زیمنس بر متر بوده است و با استناد به تحقیق Davoodi et al. (2018)



شکل ۷- بیان املح در تیمارهای زهکشی آزاد، کنترل شده و آبیاری زیرزمینی از زمان شروع آبیاری با آب شور

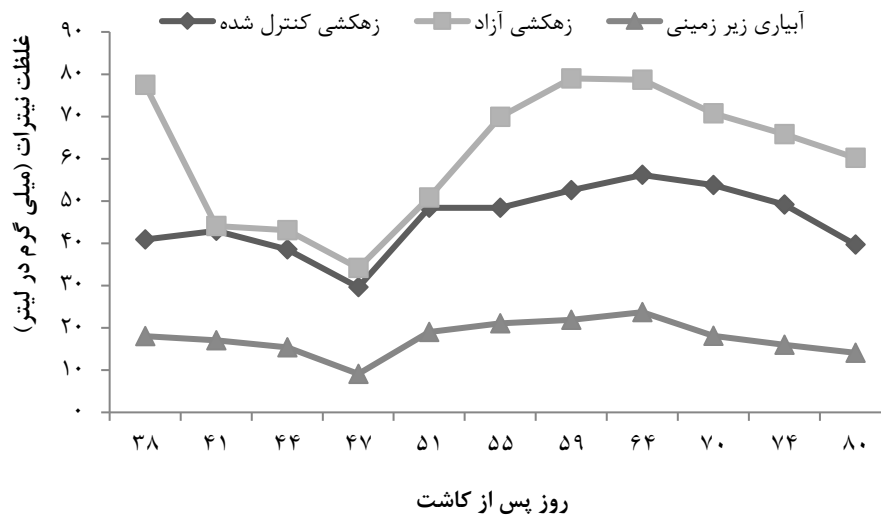
(Sadegh Elmi et al., 2005) در تحقیقات (Gilliam, 1995 and (Lari et al., 2013) نتایج نشان داد که تقریباً غلظت نیترات در زهکشی کنترل شده حدود ۴۵ تا ۶۰ درصد نسبت به زهکشی آزاد کاهش داشت. دلیل این امر باقی ماندن رطوبت بیشتر در خاک در تیمار زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد است. (Skaggs et al., 2005) در یک مطالعه دو ساله لایسیمتری بر روی گیاه یونجه انجام دادند که کاهش حجم زه آب را با کنترل سطح ایستابی و آبیاری زیرزمینی گزارش نمودند و آن‌ها مشاهده کردند که حجم زه آب، بار تخلیه نیترات و هدایت الکتریکی زه آب در تیمارهای کنترل سطح ایستابی به مقدار قابل توجهی نسبت به زهکشی آزاد کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر هرچه جریان خروجی از زهکش‌ها بیشتر باشد (زهکشی آزاد) به دلیل آبشویی بیشتر نیترات بیشتری نیز در زه آب تلف می‌گردد، که این امر را نیز می‌توان به حلالیت بالای نیترات نسبت داد. نتایج تحقیقات مشابه نشان داد که میزان غلظت نیترات در زه آب آبیاری زیرزمینی تقریباً نصف دو تیمار دیگر است (Sadegh Lari et al., 2013 ; Skaggs et al., 2005 ; Elmi et al., 2005)؛ زیرا آبیاری از عمق انجام می‌گرفت و جریان املح به صورت رو به بالا بوده و تلفات نیترات کمتر و بیشتر نیترات در لایه‌های میانی لایسیمتر ذخیره می‌شد. با توجه به آزمون خاک میزان کود مورد نیاز برای رشد گیاه گوجه‌فرنگی، طبق نظر کارشناس خاک و گیاه در سه قسط کود داده شد؛ مرحله اول کوددهی ۱۰ روز بعد از انتقال نشاها بود که ۱ گرم نیتروژن داده شد که غلظت نیترات خروجی ابتدا روندی

غلظت نیترات در زه آب: شکل (۸) تغییرات غلظت

نیترات در زه آب را در تیمارهای آزمایشی نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۸) غلظت نیترات در تیمار زهکشی آزاد به نسبت مقادیر مشابه در تیمار زهکشی کنترل شده بالاتر می‌باشد. زمانی که کنترل سطح آب صورت می‌گیرد، امکان ایجاد شرایط غیرهوازی رخ می‌دهد و همین عامل باعث انجام عملیات دنیتریفیکاسیون می‌شود. زمانی که مواد آلی خاک بالا باشد، دنیتریفیکاسیون شدت می‌گیرد و موجب کاهش انتقال نیترات می‌گردد. کاهش غلظت نیترات زهاب خروجی در اثر انجام دنیتریفیکاسیون در تحقیقات زیادی گزارش شده است (Javani et al., 2018; Dalzell et al., 2007 ; Elmi et al., 2005; Lalonde et al., 1996; Mejia et al., 2000; Ng et al., 2002). از دلایل دیگری که باعث کاهش میزان غلظت نیترات خروجی در تیمارهای زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی شده است، می‌توان به زمان تأخیر بالاتر نیترات در خاک اشاره کرد که باعث افزایش جذب توسط ریشه گیاه می‌گردد (Smith and Kellman, 2011; Bohlen and Villapando, 2011; Javani et al., 2018). برخی از محققین، کاهش غلظت نیترات را به دلیل امکان افزایش N₂O که اثرات مخربی بر محیط زیست دارد، فرآیندی خطرناک توصیف کرده‌اند (Dalzell et al., 2007)، در صورتی که انتشار گاز N₂O از طریق دنیتریفیکاسیون بسیار اندک می‌باشد. در تحقیقی، میزان N₂O تولید شده تنها ۲ درصد دنیتریفیکاسیون برآورد شد و نتایج نشان داد که سطح آب خاک اثری بر درصد N₂O که وارد اتمسفر می‌شود ندارد (Kliwer

برای انتقال نیترات به اعماق پایین تر بوده است. با این حال در آبیاری بعدی میزان غلظت نیترات در هر دو تیمار به حداکثر مقدار خود رسیده است و سپس دوباره روند کاهشی داشته است. در کوددهی سوم نیز که بعد از مرحله هفتم آبیاری انجام شد ۶ گرم نیتروژن داده شد که همین روند تکرار گردیده است.

افزایشی داشته و سپس به حداکثر مقدار خود رسیده و سپس روند کاهشی داشته است. با توجه به اینکه میزان کوددهی دوم نیتروژن ۴ گرم بعد از مرحله چهارم انجام شد (روز ۵۰ دوره رشد)، در نمونه برداری زه آب مربوط به همین آبیاری غلظت نیترات افزایش زیادی نداشته است و این امر به دلیل فرصت زمان محدود



شکل ۸- تغییرات غلظت نیترات در زه آب در تیمارهای مختلف در طول دوره رشد

نسبت به زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی افزایش یابد و همین امر باعث افزایش تلفات و هدررفت فسفر گردد. از طرف دیگر کاربرد بیش از حد کودهای فسفره منجر به افزایش سطح اشباع خاک از فسفر شده و خطر هدررفت فسفر از سیستم زهکشی را افزایش می دهد (Smith and Kellman, 2011; Javani et al., 2018). زهکشی کنترل شده علاوه بر این که دبی زهکش را کاهش و ذخیره آب زیرزمینی را افزایش می دهد، باعث کاهش میزان فسفر در زه آب خروجی نیز شد (Rozemeijer et al., 2016).

بیان نیتروژن و فسفات در خاک: میزان بیان نیترات

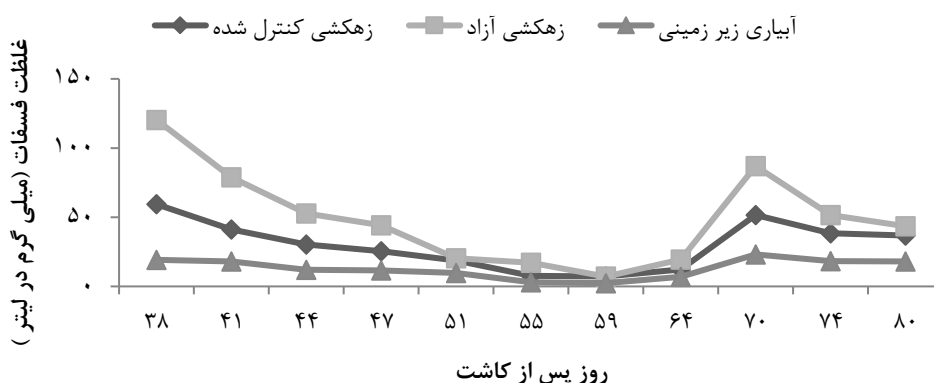
نیز مورد بررسی قرار گرفت که در شکل های (۱۰ و ۱۱) کل نیترات و فسفات ورودی از طریق آبیاری کوددهی نمایش داده شده است، که در آبیاری زیرزمینی در کل دوره رشد ۱۱ گرم نیترات و ۱۹ گرم فسفات به خاک داده شده و همان مقدار را ذخیره کرده و در زهکشی کنترل شده از ۱۱ گرم نیترات داده شده ۹ گرم و از ۱۹ گرم فسفات داده شده، ۱۸ گرم آن ذخیره شده ولی در تیمار زهکشی آزاد از ۱۱ گرم نیترات داده شده به خاک ۸ و ۱۹ گرم فسفات، ۱۷ گرم ذخیره شده است. طبق نتایج تیمار زهکشی کنترل شده میزان جذب و نگهداری نیترات و فسفات بالاتری نسبت به زهکشی آزاد داشته است و تیمار آبیاری زیرزمینی به

غلظت فسفات در زه آب: با توجه به شکل (۹) غلظت

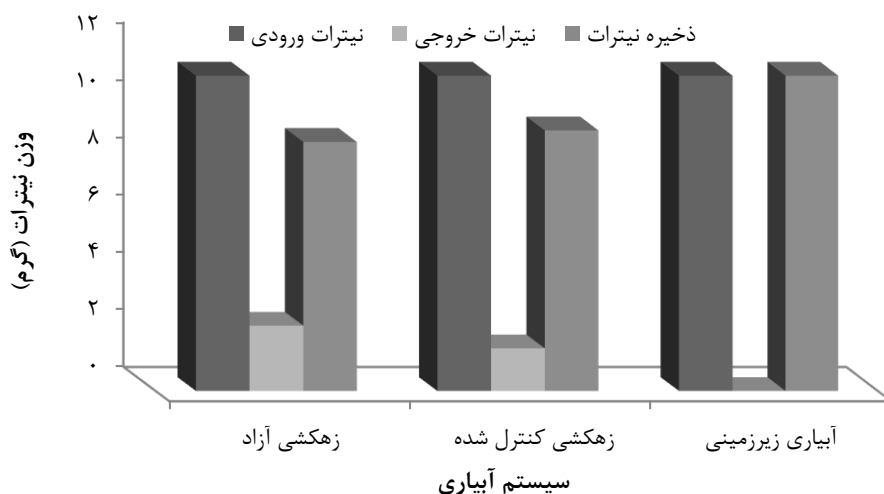
فسفات خروجی زه آب در آبیاری زیرزمینی کمتر از زهکشی کنترل شده و غلظت فسفات زه آب زهکشی کنترل شده کمتر از زهکشی آزاد است. حداکثر غلظت فسفات اندازه گیری شده ۳۷ روز پس از کاشت در هر سه سیستم آبیاری زیرزمینی، زهکشی- کنترل شده و زهکشی آزاد به ترتیب ۱۹/۲۱، ۵۹/۳۷ و ۱۲۰/۴ میلی گرم در لیتر و به مرور غلظت فسفات زه آب کاهش یافته تا ۵۹ پس از کاشت که به کمترین میزان خود به ترتیب ۲/۴، ۷/۹ و ۷/۹ میلی گرم و بعد از مرحله دوم کوددهی مجددا نمودار روند صعودی داشته است. با توجه به شکل (۵) و شکل (۹)، نسبت مستقیم بین میزان دبی زه آب و میزان هدر رفت فسفات وجود دارد، به گونه ای که با افزایش میزان زه آب خروجی، بر هدررفت فسفات نیز افزوده می شود. روند انتقال فسفر در خاک غالباً بیوشیمیایی است و جذب فسفر به ذرات ریز خاک و رسوبات، یکی از اصلی ترین مکانیزم های انتقال آن به زه آب می باشد. فسفر در صورت حضور اکسید آهن و آلومینیوم کافی، می تواند جذب ذرات خاک شده و ترسیب گردد (Dunne et al., 2007a; Dunne et al., 2007b; Oil and Destouni, 2009; Zhuan-xi et al., 2009). با افزایش میزان حجم زه آب خروجی، ممکن است میزان بار رسوبات و ذرات خارج شده از خاک در تیمار زهکشی آزاد

است که جرم نمک در تیمار زهکشی آزاد با مقدار ۶۴/۰۷ گرم نسبت به تیمار زهکشی کنترل شده با مقدار ۴۸/۱۲ گرم بیشتر بوده و از نظر هدررفت جرمی نیترات و فسفات روش زهکشی آزاد مقادیر بالاتری نسبت به زهکشی کنترل شده ثبت کرد. جرم نیتروژن نیتراتی (NO_3-N) به ترتیب با ۲/۲۱ و ۱/۵۷ گرم و جرم فسفات (PO_4) به ترتیب با ۱/۵۴ و ۱/۱۶ گرم در زه آب تلفات بیشتری را نشان داد و همچنین حجم زه آب خروجی در زهکشی آزاد با ۳۵/۸ لیتر از زهکشی کنترل شده با مقدار ۳۱/۸ لیتر بیشتر بود. طبق مشاهدات در مجموع تیمار زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد جذب املاح بیشتری داشته است. بار نمک، تلفات نیترات و فسفر در روش آبیاری زیرزمینی و زهکشی کنترل شده به مراتب از روش زهکشی آزاد کمتر بوده است که با نتایج تحقیق Darzi-Naftchali and Ritzema et al. (2018) مطابقت دارد.

دلیل اینکه زه آبی از آن خارج نشده است تمام نیترات و فسفات ورودی را جذب و یا ذخیره کرده و چون نیاز به آبشویی نبوده تخلیه زه آب صورت نگرفته است. هدر رفت فسفات نسبت به نیترات کمتر بوده زیرا فسفر به کلئیدها می چسبد و غیرمتحرک می شود. بنابراین حرکت زیادی ندارد در حالی که نیتروژن به طور قائم حرکت آسانی دارد و حلالیت بیشتری دارد به طور کلی میزان تخلیه نیترات نسبت به فسفات بیشتر بوده است. درصد جرمی املاح خروجی زه آب نیز محاسبه گردید که نیترات خروجی زهکشی آزاد ۲۰/۹ درصد و نیترات خروجی زهکشی کنترل شده ۱۳/۷ درصد و فسفات خروجی زهکشی آزاد ۸/۱ درصد و فسفات خروجی زهکشی کنترل شده ۵/۷ درصد بوده است. جدول (۴) با آزمون t ، تأثیر مدیریت سطح ایستایی بر هدر رفت نیترات، فسفات، شوری و حجم زه آب را نشان می دهد. نتایج حاکی از این



شکل ۹- تغییرات غلظت فسفات در زه آب در تیمارهای مختلف در طول دوره رشد



شکل ۱۰- بیان نیتروژن در تیمارهای زهکشی آزاد، کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در طول یازده مرحله آبیاری



شکل ۱۱- بیلان فسفات در تیمارهای زهکشی آزاد، کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در طول یازده مرحله آبیاری

جدول ۴- تاثیر مدیریت سطح ایستابی بر هدررفت فسفر، تلفات نیترات، حجم زه آب و خروج نمک

پارامتر	زهکشی آزاد	زهکشی کنترل شده	آزمون t
وزن فسفات (گرم)	۱/۵۷	۱/۱۶	NS
وزن نیترات (گرم)	۲/۲۱	۱/۵۴	$p \leq 0/05$
وزن نمک (گرم)	۶۴/۰۷	۴۸/۱۲	$P \leq 0/01$
حجم زه آب (لیتر)	۳۵/۸	۳۱/۸	$P \leq 0/05$

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات مدیریت سطح ایستابی (زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی) و زهکشی آزاد، تغییرات حجم زه آب، شوری و غلظت عناصر کودی زه آب، در کشت گوجه-فرنگی در سه تیمار با سه تکرار در ۹ لایسیمتر به اجرا در آمد. بیشترین میزان صرفه جویی مصرف آب در تیمارهای آبیاری زیرزمینی و سپس زهکشی کنترل شده نسبت به تیمار زهکشی آزاد طی ماه های مهر تا آذر اتفاق افتاد یعنی زمانی که ریشه های گوجه فرنگی به خوبی رشد و توسعه یافته و امکان استفاده از آب زیرزمینی کم عمق برای گیاه بهتر فراهم گردیده بود. در خصوص میزان صرفه جویی انجام شده در تیمارهای آبیاری زیرزمینی باید به این نکته اشاره نمود که بخشی از صرفه جویی در مصرف آب، مربوط به اعمال مدیریت آبیاری در مزارع کنترل شده و جلوگیری از بیش آبیاری و بخش دیگری از آن نیز مربوط به نگهداشت و کنترل سطح ایستابی و کاهش میزان خروجی زه آب بود که سبب نگهداری بهتر رطوبت خاک در تیمارهای آبیاری زیرزمینی و کنترل شده نسبت به تیمار زهکشی آزاد و امکان استفاده از صعود موئینگی توسط گیاه فراهم شده و گیاه قسمتی از نیاز تبخیر تعرق

خود را مستقیماً از آب زیرزمینی تامین کرد. غلظت نیترات و فسفات زه آب خروجی نیز در روش های زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی، به شدت کاهش یافت که از عمده ترین دلایل آن می توان به کاهش زه آب خروجی در این تیمارها نسبت به زهکشی آزاد اشاره نمود. به طور کلی تیمارهای آبیاری زیرزمینی و زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد عملکرد بسیار بهتری در کاهش تولید و ورود زه آب و آلاینده های موجود در آن از نظر نیترات و فسفات به محیط زیست داشته و همچنین باعث کاهش شوری زه آب خروجی نیز شده است. در نهایت می توان به این نتیجه رسید که امکان اجرای آبیاری زیرزمینی و سپس زهکشی کنترل شده در دزفول وجود دارد و به دلیل کیفیت زه آب خروجی زهکشی کنترل شده، برنامه ریزی برای استفاده مجدد و مدیریت شده از زه آب نیز در این منطقه، امکان پذیر است. این را هم باید در نظر گرفت تحقیق در شرایط خاص خود انجام شده است و برای تعیین دقیق تر مشخصات اجرای روش های کنترل سطح ایستابی در مناطق گرم و خشک باید تحقیقات وسیع تری صورت گیرد تا بتوان به طور قطع در مورد امکان اجرای این روش ها در مناطق گرم و خشک نظر داد.

REFERENCES

- Akram, M. Azari, A. Nahvi, A. Bakhtiari, Z. and Safaei, H.D. (2013). *Subsurface drainage in Khuzestan, Iran: environmentally revisited criteria*. Irrigation and Drainage, 62(3), 306-314.
- Anon. (2010). *Disposal Problems of Drainage Water in Southern Iran*. Drainage & Environment Working Group of IRNCID. Proceeding of the 6th Drainage & Environment Workshop. Jan. 6. Tehran.Iran. 1-22.
- Alizadeh, A. (2002). *Soil, Water, Plant relationship*. Astan Gods Razavi Pub., Mashad. Iran. (In Farsi)
- Alizadeh, A. (2010). *Design of surface irrigation systems*. Imam Reza University. 4/5.171 (In Farsi)
- Bohlen, P.J. and Villapando, O.R. (2011). Controlling runoff from subtropical pastures has differential effects on nitrogen and phosphorus loads. *Environmental Quality*. 40: 989-998.
- Creze, C. M., Madramootoo, C. A. (2019). *Water table management and fertilizer application impacts on CO₂, N₂O and CH₄ fluxes in a corn agro-ecosystem*. Scientific Reports 9 (in press)
- Davoodi, K. Darzi NaftChahi, A. and Aghajani Mazandarani, gh. (2018). Effect of free and controlled drainage on water balance and soil and drainage water salinity under rainfed canola in paddy fields. The period 3. Number 3. 367-382.
- Darzi-Naftchali, A. and Ritzema, H. (2018). Integrating Irrigation and Drainage Management to Sustain Agriculture in Northern Iran. *Sustainability*, 10: 1-17.
- Darzi, A. and A. Shahnazari. (2014). Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *European Journal of Agronomy*, (56): 1-8.
- Dalzell, B. J., Filley, T. R. and Harbor, J. M. (2007). The role of hydrology in annual organic carbon loads and terrestrial organic matter export from a mid-western agricultural watershed. *Geochemical and Cosmochimical*. 71: 1448-1462.
- Dunne, E.J., McKee, K.A., Clark, M.W., Grunwald, S. and Reddy, K.R. (2007a). *Phosphorus in agricultural ditch soil and potential implications for water quality*. Soil and Water Conservation. 62: 244-252.
- Dunne, E. J., Smith, J., Perkins, D. B., Clark, M. W., Jawitz, J. W. and Reddy, K. R. (2007b). *Phosphorus storages in historically isolated wetland ecosystems and surrounding pasture uplands*. Ecological Engineering. 31:16-28.
- El-Ghannam, M. AboWaly, M. Gaheen.A. Karajeh, F.F. and Gendy A. (2016). *Controlled drainage effects on nitrate leaching, salinity buildup and sugar beet production (Egypt)*. Merit Research Journal of Agricultural Science and Soil Sciences, 4(2), 023-032.
- Elmi, A. Gordon, R., Madramootoo, C. and Madani, A. (2005). *Watertable management for reducing nitrate accumulation in a soil profile under corn production*. CANADIAN Biosystems Engineering J., 47: 123-128.
- Gowing, J. Rose, D. and Ghamarnia, H. (2009). The effect of salinity on water productivity of wheat under deficit irrigation above shallow groundwater. *Agricultural Water Management*, 96, 517-524.
- Fisher, M.J., Fausey, N.R., Subler, S.E., Brown, L.C. and Bierman, P.M. (1999). *Water table management, nitrogen dynamics and yields of corn and soybean*. Soil Science Society American. 63: 1786-1795.
- Hassanoghli, A. Esmaeili Aminloo, A. and Sakhaei Rad, H. (2015). Assessment in of Quality and Quantity Drain in Subsurface Drainage drains without envelope in comparison with Mineral envelope in Shadegan Plain. Investigation of subsurface drainage water quality and quantity of bare tiles in comparison with mineral envelope in Shadegan plain. *Water Research in Agriculture*, 22(2), 263-275. (In Farsi)
- Hornbuckle, J., Christen, E., Ayars, J. and Faulkner, R. (2005). Controlled water table management as a strategy for reducing salt loads from subsurface drainage under perennial agriculture in semi-arid Australia. *Irrigation and Drainage Systems*, 19(2), 145-159.
- Helmert, M., Christianson, R., Brenneman, G., Lockett, D. and Pederson, C. (2012). Water table, drainage, and yield response to drainage water management in southeast Iowa. *Journal of Soil Water Conservation*, 67, 495-501.
- Ismailnia, S. Liaghat, A. Heidari, N. and Akram, M. (2005). *Lysimetry Study of Water Table Management Methods in Tomato Irrigation*. Journal of Agricultural Engineering Research, 6 (23): 113-124.
- Jia Z. and Evans R.O. (2006). Effect of controlled drainage and vegetative buffers on drainage water quality from wastewater irrigation fields. *Journal of Irrig and Drain Eng*. ASCE. 132(2):159-170.
- Javani, H.R., Liaghat, A., Hassanoghli, A. Nazari, B. (2018). *Quantitative and qualitative changes of drain water by installation of controlled drainage in Moghan plain lands*. Water and Irrigation Management (Scientific Journal of Agriculture). Vol. 8(1): 85-100. (In Farsi)
- Javani jooni, H. Liaghat, A. Hassanoghli, A. Nazari, B. (2018). The effect of controlled drainage on the discharge drainage water level water productivity in the moghan plain. *Iran water Research*. 49. 1. 207-219.
- Kliwer, B. A. and Gilliam, J. W. (1995). *Water table management effects on denitrification and nitrous oxide evolution*. Soil Science Society of America. 59:1694-1701.
- Lalonde, V., Madramootoo, C.A., Trenholm, L. and Broughton, R.S. (1996). *Effects of controlled drainage on nitrate concentrations in subsurface drain discharge*. *Agricultural Water Management*. 29: 187-199.
- Liu, J. G., Luo, W. Pei, Y.S. and Xu, F.R. (2009). Salt and Water Balance Analysis after Adopting Controlled Drainage in Yinnan Irrigation District.

- Ningxia, China. Irrig Drain 58, 357-365.
- Mahjoubi, A. Hooshmand, A. Naseri, A. A. and Jafari S. (2014). Effect of controlled drainage on reducing drainage coefficient and drainage volume in sugarcane fields of Imam Khomeini Agro-industry. Journal of Water and Soil, 27(6), 1133-1144.
- Mahjoubi, A. Hooshmand, A. Naseri, A. and Jafari, S. (2013). Effect of controlled discharge on reduction of discharge capacity and outlet drainage volume in sugarcane farms and Imam Khomeini Industry. Iran journal of water and soil. 1122-1144.
- Mahjoubi, A. Naseri, A. Hooshmand, A. and Borrome and nasab, S. (2012). Investigating the effects of controlled discharge on irrigation management and sugarcane yield (case study of imam Khomeini cultivation and industry). Journal of Agricultural Engineering Research. page 24/40. 1144-1133.
- Mansouri, H., Mostafazadehfard, B., Mousavi, F., Agha khani, A. and Feyzi, M. (2006). *The Impact of different management of saline water on wheat crop performance*. the 2nd international conference on new findings of science.
- Madramootoo, C. A., Johnston, W. R., Ayars, J. E., Evans, R.O. and N.R. Fausey. (2007). *Agricultural drain-age management, quality and disposal issues in North America*. Irrigation and Drainage 56: S35-S45.
- Mejia, M. N., Madramootoo, C. A. and Broughton, R. S. (2000). *Influence of water table management on corn and soybean yields*. Agricultural Water Management. 46(1): 73-89.
- Molavi, H. Parsi njad, M., Liaghat, A. (2011). Control of salinity and nitrate losses in drains under water level management. journal of water and irrigation management. 1/1. 15-28
- Ng, H. Y., Tan, C. S., Drury, C. F. and Gaynor, J. (2002). Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in sandy loam soil in southwestern Ontario. Agriculture Ecosystems Environment. 90: 81-88.
- Nozari, H. and Azadi, S. (2017). Experimental evaluation of artificial neural network for predicting drainage water and groundwater salinity at various drain depths and spacing. Neural Computing and Applications. 10.1007/s00521-017-3155-9.
- Ramezanimoghadam, J. Naseri, A. Hooshmand, A. and Mescarbashi, M. (2014). Lysimeter study to Evaluate the effects of water stress and Nitrogen fertilizer on Maize in the shallow Ground water. 33 3. Page 1-11.
- Rozemeijer, J.C. Visser, A. Borren W. Winegram, M., Van der Velde, Y. Klein, J. and Broers, H. P. (2016). High-frequency monitoring of water fluxes and nutrient loads to assess the effects of controlled drainage on water storage and nutrient transport. Hydrology Earth System Scienc, 2, 347-358.
- Sadegh lari, A. Maazed, H. Naseri, A. Mahjoubi, A. and Liaghat, L. (2013). Stream level fluctuations of drainage and nitrogen dynamics in cultivated sugarcane hands with controlled drainage system. water and soil. 27. 6. page 1077 -1089.
- Skaggs, R.W. Mohamed, A.Y. and Evans, R.O. (2005). *Agricultural drainage management: Effects on water conservation, N loss and crop yields*. 2nd Agricultural Drainage and Water Quality Field Day, University of Minnesota – Southwest Research & Outreach Center, Lumberton Minnesota.
- Skaggs, R. W. (2007). *Controlled drainage to reduce nitrogen losses from drained lands*. Annual Meeting, New Orleans, United States.
- Shao, G. C., Deng, S., Liu, N., Yu, S., Wang, M. H. and She, D. L. (2014). *Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice*. Europ. J. Agronomy, 53: 1-9.
- Sharifi mood, N., Mirzaii, F., Parsi njad, M., (2010). Effect of controlled drainage and irrigation water salinity on sorghum yield reduction and water use efficiency. Iranian journal of Research. 4/6. 59-66.
- Shouse, P.J. Goldberg, S. Skaggs, T.H. Soppe, R.W.O. Ayars, J.E. (2010). Changes in spatial and temporal variability of SAR affected by shallow groundwater management of an irrigated field, California. Agr Water Manage 97, 673-680.
- Smith, E. L. and Kellman, L. M. (2011). Nitrate loading and isotopic signatures in subsurface agricultural drainage systems. Environmental Quality. 40: 1257-1265.
- Zhuan-xi, L., Bo, Z., Jia-Liang, T. and Tao, W. (2009). Phosphorus retention capacity of agricultural headwater ditch sediments under alkaline condition in purple soils area, China. Ecological Engineering. 35: 57-64.