



## تاثیر مدیریت آب زیرسطحی بر زه آب تولیدی، عملکرد، الگوی توزیع ریشه،

### تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب

(مطالعه موردی: ذرت علوفه‌ای-کرج)

حسین مولوی<sup>۱\*</sup> - مسعود پارسى نژاد<sup>۲</sup> - عبدالمجید لیاقت<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۴

### چکیده

یکی از راهکارهای افزایش کارایی اقتصادی و زیست محیطی سیستم‌های زه‌کشی سنتی، زه‌کشی کنترل شده است. این تحقیق به بررسی اثر زه‌کشی کنترل شده بر عملکرد، الگوی توزیع ریشه و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای (رقم SC 704) در اقلیم کرج پرداخته است. سه تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی، شامل دو تیمار کنترل سطح ایستابی در عمق‌های ۴۰ (CD40) و ۶۰ سانتی‌متر (CD60) و یک تیمار زه‌کشی آزاد (FD)، با سه تکرار در نظر گرفته شد. ایستگاه لایسی‌متری مجهز به سیستم زه‌کشی و سیستم کنترل سطح ایستابی بود. زمان بندی و مقدار آبیاری کلیه لایسی‌مترها با توجه به زمان رسیدن رطوبت خاک به حد تخلیه رطوبتی، به میزان ۶۵ درصد، تعیین شد. مقدار آبیاری تمام تیمارها، بر اساس جبران کمبود رطوبتی برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی و با اعمال راندمان ۷۰ درصد صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که در تیمارهای CD، به دلیل مصرف مفید گیاه از مقادیر آب نفوذ یافته موقعیت سطح ایستابی در دو تیمار CD، تفاوت معنی‌داری نداشت. علی‌رغم اینکه میزان ناخالص آبیاری در تیمار FD بیشتر از تیمارهای CD بود ولی در تیمار FD، به دلیل فراهم بودن شرایط دفع زه‌آب، میزان مصرف مفید توسط گیاه کاهش یافت. اثر مدیریت سطح ایستابی بر روی عملکرد، حجم آبیاری، وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. حجم زه‌آب خروجی تیمار FD، ۳۴/۸ درصد مقدار آبیاری ناخالص و برای تیمارهای زه‌کشی کنترل شده برابر صفر درصد بود. وزن خشک علوفه در تیمارهای FD، CD40 و CD60 به ترتیب برابر ۳/۹۴، ۶/۳۸ و ۶/۵۶ کیلوگرم بر مترمربع بود. وزن خشک کل ریشه، در تیمار FD نسبت به تیمارهای CD، به میزان ۴۳/۷ درصد بیشتر شد. همچنین مدیریت سطح ایستابی باعث تغییر محسوس الگوی توزیع ریشه، در تیمارهای CD نسبت به FD گردید. تیمار FD با کارایی مصرف آب ۵/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب دارای حداقل کارایی مصرف آب در بین تیمارها بود، در حالی که کارایی مصرف آب آبیاری برای تیمارهای CD40 و CD60 به ترتیب ۹/۸۷ و ۱۰/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. در نهایت، نتایج به دست آمده نشان داد، راهکارهای مدیریتی تخلیه زه‌آب با استفاده از روش زه‌کشی کنترل شده، علاوه بر کنترل میزان زه‌آب تولیدی می‌تواند در کارایی مصرف آب گیاهان موثر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی توزیع ریشه، ذرت علوفه‌ای، زه‌کشی کنترل شده، عملکرد، کارایی مصرف آب

### مقدمه

در جهت افزایش کارایی مصرف آب گیاهان و کنترل زه‌آب تولیدی موثر واقع شود. در این روش، با مدیریت تراز خروجی زه‌کش، می‌توان سطح آب را در داخل خاک در حدی مطلوب حفظ کرد، به طوری که گیاه بتواند به کمک نیروی موئینه‌ای از آب ذخیره شده، استفاده کند و در عین حال، به گیاه آسیبی از نظر ماندابی شدن وارد نگردد. زه‌کشی کنترل شده نباید با آبیاری زیرزمینی اشتباه گرفته شود، هر چند مفهوم این دو به یکدیگر نزدیک است. در آبیاری زیرزمینی جریان ورود و خروج آب برخلاف روش‌های معمول آبیاری می‌باشد، به طوری که در این روش، از طریق لوله‌های زه‌کش جریان آب وارد می‌شود و با مدیریت سطح ایستابی در حد معین، از طریق صعود موئینی در

اجرای سیستم‌های زه‌کشی سنتی معمولاً باعث زه‌کشی بیش از حد اراضی و در نتیجه هدررفت بیشتر آب و کودهای شیمیایی می‌گردد، در حالی که با توجه به مسائل کمبود آب و ملاحظات زیست محیطی خارج کردن آب از زمین باید فقط در مواقع لزوم انجام شود. زه‌کشی کنترل شده از روش‌های مدیریت سطح ایستابی که می‌تواند

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران  
\* نویسنده مسئول: (Email: molavihosseini@gmail.com)

کاهش می‌شود و بتبع آن بیانگر کاهش تلفات نیترات نیز هست. همچنین آنان بیان نمودند، تأثیر زهکشی کنترل شده در افزایش عملکرد کاملاً مشهود بود به گونه‌ای که عملکرد به طور میانگین به میزان ۵ درصد افزایش یافت. راموسکا و همکاران (۱۴) بیان کردند، مزایای زهکشی کنترل شده در مقایسه با زهکشی سنتی در سال‌های خشک بیشتر و معنی‌دار تر بود. نوری و همکاران (۵) در یک مطالعه لایسی‌متری، کاهش حجم زه‌آب را با کنترل سطح ایستابی و آبیاری زیرزمینی در کرج گزارش نمودند. آنان مشاهده کردند که حجم زه‌آب، بار تخلیه نیترات و هدایت الکتریکی زه‌آب در تیمارهای کنترل سطح ایستابی (۳۰، ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری نسبت به زهکشی آزاد، کاهش می‌یابد. در تیمارهای سطح ایستابی ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب، حجم زه‌آب ۵۰ و ۴۱ درصد نسبت به زهکشی آزاد کاهش یافت. اسمعیل‌نیا و همکاران (۱) در مقایسه زهکشی کنترل شده، آبیاری زیرزمینی و زهکشی آزاد، گزارش نمودند بیشترین عملکرد گوجه فرنگی، برای روش زهکشی کنترل شده و کمترین آن برای روش زهکشی آزاد به‌دست آمد.

بر اساس تحقیقات صورت پذیرفته زهکشی کنترل شده از روش‌هایی است که دارای مزایای زیادی از جمله کاهش حجم زه‌آب تولیدی، کاهش تلفات کودهای شیمیایی، کاهش آلودگی محیط زیست، افزایش تعرق، افزایش نسبی عملکرد و کارایی مصرف آب می‌باشد. این درحالی است که در خصوص مزایای مدیریت سطح آب، تحقیقات محدودی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران صورت گرفته است. در صورتی که در برخی از مناطق ایران پتانسیل اجرای زهکشی کنترل شده در جهت بهبود کارایی سیستم‌های زهکشی موجود و افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد محصول وجود دارد. از این نظر، با توجه به لزوم استفاده بهینه از منابع آب محدود به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، و همچنین افزایش حساسیت به لزوم رعایت ملاحظات زیست محیطی در جهت پایداری منابع طبیعی، هدف از این تحقیق بررسی استفاده از روش زهکشی کنترل شده در اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران بوده است، تا میزان تأثیر این روش بر عملکرد، توزیع ریشه و کارایی مصرف آب از یک سو و کنترل حجم زه‌آب تولیدی از سوی دیگر مشخص شود.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج انجام شد. محل اجرای آزمایش در ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه طول جغرافیایی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۱۲/۵ متر است. متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۲۶۰ میلی‌متر می‌باشد. در این مطالعه سه تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی، شامل دو تیمار کنترل سطح ایستابی در عمق‌های ۴۰

اختیار گیاه قرار می‌گیرد، اما در زهکشی کنترل شده، آبیاری از سطح صورت گرفته و فقط با کنترل خروجی زهکش‌ها آب در خاک حفظ می‌شود تا گیاه بتواند مدت زمان بیشتری از آن استفاده کند. بنابراین در آبیاری زیرزمینی سطح ایستابی همیشه در عمق مورد نظر ثابت است اما در زهکشی کنترل شده، عمق سطح ایستابی دارای نوسان می‌باشد.

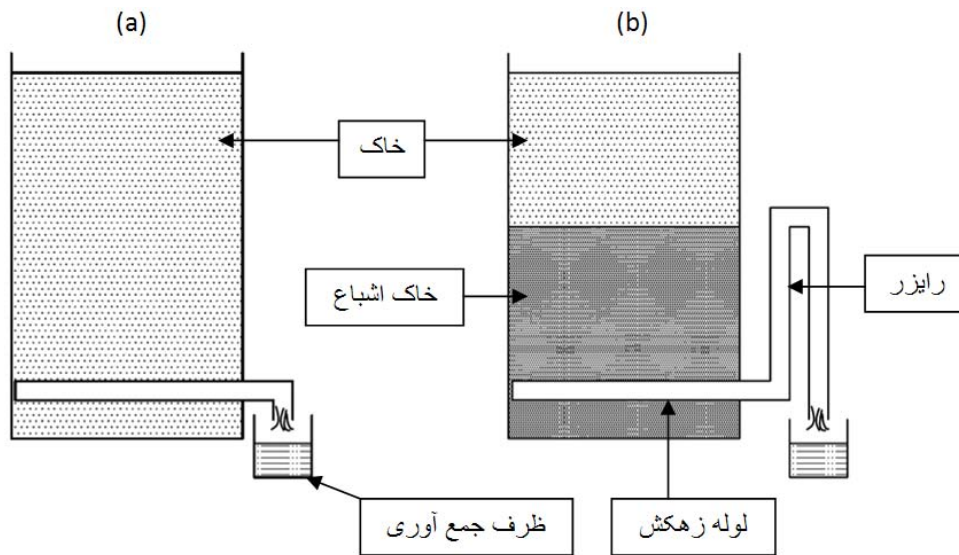
اسکگر و همکاران (۱۵) بیان نمودند، در وضعیت‌هایی که آب کافی در دسترس نیست زهکشی کنترل شده از تخلیه بیش از حد آب، جلوگیری می‌کند و همین‌طور آغاز تنش آبی گیاه را به تأخیر می‌اندازد. پارسونز و همکاران (۱۱) افزایش ۴ تا ۱۱ درصدی عملکرد ذرت را طی آزمایش پنج ساله زهکشی کنترل شده مشاهده نمودند. آهونن (۶) در فدلاند تحقیقاتی بر روی زهکشی کنترل شده در کشت سیب زمینی انجام داد که ۱۰ درصد افزایش محصول را مشاهده نمود. وستروم و همکاران (۱۸) در جنوب سوئد اثرات زهکشی کنترل شده بر روی حجم زه‌آب خروجی بررسی نمودند. آزمایشات آنها در یک کرت ۰/۲ هکتاری با خاک شن لومی و چهار لوله زهکش با فاصله ۱۰ متر از هم بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ انجام شد. نتایج نشان داد که زهکشی کنترل شده اثر بسیار مشهودی بر حجم زه‌آب خروجی داشت، به‌طوری‌که زه‌آب خروجی در سال اول ۷۹ درصد و در سال دوم ۹۴ درصد نسبت به زهکشی معمول کاهش داشت. مجیا و همکاران (۹) در یک تحقیق دو ساله اثرات مدیریت سطح ایستابی را بر روی ذرت و سویا بررسی نمودند. تیمارهای آنها شامل دو سطح ایستابی در عمق‌های ۵۰ (CWT<sub>0.5</sub>) و ۷۵ (CWT<sub>0.75</sub>) سانتی‌متری و یک تیمار زهکشی آزاد با عمق آب زیرزمینی یک متر بود. نتایج نشان داد که در سال ۱۹۹۵ محصول ذرت در تیمار CWT<sub>0.5</sub>، ۱۳/۸ درصد و در تیمار CWT<sub>0.75</sub>، ۲/۸ درصد بیشتر از محصول به‌دست آمده در زهکشی آزاد بود. تحقیقات پتل و همکاران (۱۲) در بررسی آبیاری زیرزمینی در مناطق خشک در شرایط شبیه‌سازی شده این مناطق در ایالت کبک کانادا، افزایش ۵۹ درصد محصول سیب زمینی و کاهش ۶۰ درصد آب آبیاری نسبت به زهکشی آزاد را نشان داد. ان‌جی و همکاران (۱۰) تحقیقی را به منظور بررسی تأثیرات زهکشی کنترل شده بر شستشوی نیترات و عملکرد محصول انجام دادند؛ نتایج تحقیقات آنها نشان داد که زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی معمولی باعث افزایش کارایی مصرف آب به میزان ۱۱ درصد، افزایش عملکرد محصول به میزان ۶۴ درصد، کاهش تلفات نیتروژن به میزان ۳۶ درصد می‌شود. در پژوهشی که توسط اسکگر و همکاران (۱۷) در کارولینای شمالی روی ۱۴ خاک مختلف به منظور بررسی تأثیر زهکشی کنترل شده در کاهش تلفات نیترات به منظور کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش محصول صورت گرفت، نتایج نشان داد که مدیریت آب تحت زهکشی کنترل شده، باعث کاهش حجم زه‌آب در مقایسه با زهکشی متداول به میزان ۴۰ تا ۵۰ درصد

کشت مورد نظر ذرت (رقم 704 SC) بود که در تاریخ ۱۳۸۹/۲/۲۸ کاشته شد. در هر لایسی متر چهار بذر به فاصله ۲۰ سانتی متر از هم قرار داده شد. تا مرحله استقرار گیاه، به دلیل عمق کم ریشه‌ها، آبیاری در تمام تیمارها به یک مقدار مشابه و به صورت سطحی و بر اساس میزان تبخیر از تشت کلاس A با استفاده از اطلاعات ایستگاه هواشناسی که در مجاورت محل مطالعه بود، انجام شد. سپس اعمال تیمار از تاریخ ۱۳۸۹/۴/۴ صورت پذیرفت. اندازه-گیری انجام شده نشان داد، آب آبیاری مورد استفاده، دارای شوری ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. در طول فصل کشت هیچ‌گونه بارندگی رخ نداد و تمامی کمبود رطوبتی خاک از طریق آبیاری تامین گردید. اندازه‌گیری‌های انجام شده با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Pressure Plate) نشان داد، رطوبت حجمی خاک مورد استفاده در نقاط ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) به ترتیب برابر ۲۲/۲ و ۱۰/۶ درصد است. با توجه به خصوصیات شیمیایی خاک (جدول ۱) و مشاوره با کارشناس تغذیه خاک و گیاه، کود پتاسه (سولفات پتاسیم) و فسفره (سوپر فسفات) در یک نوبت قبل از کاشت و معادل ۲۵۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره معادل ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله کاشت، هشت‌برگی و سنبله‌دهی به صورت سطحی و یکسان در بین تمام تیمارها استفاده گردید. زمان آبیاری کلیه لایسی‌مترها بر اساس تخلیه مجاز رطوبتی در تیمار زه‌کشی آزاد و به میزان ۶۵ درصد در نظر گرفته شد، به عبارتی هر زمان که، ۶۵ درصد از رطوبت قابل استفاده گیاه در تیمار زه‌کشی آزاد تخلیه می‌شد، آنگاه در تمام تیمارها آبیاری با توجه به مقدار لازم جهت رفع کمبود رطوبتی خاک برای رسیدن به نقطه ظرفیت زراعی و با منظور داشتن راندمان آبیاری انجام می‌گرفت.

۶۰ سانتی‌متر (CD60) و یک تیمار زه‌کشی آزاد (FD)، با سه تکرار در نظر گرفته شد. مطالعه در ایستگاه لایسی‌متری و با استفاده از خاک با بافت سبک، که به‌طور یکنواخت و با تراکم یکسان پر شده بود، انجام گردید. به تهیه خاک با بافت سبک و یکنواخت گردید. خاک مورد استفاده، دارای ۷۱ درصد شن، ۱۵ درصد رس و ۱۴ درصد سیلت (خاک لوم شنی) با وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.

نه لایسی‌متر از جنس پلی اتیلن به قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر، جهت کشت ذرت علوفه‌ای (رقم 704 SC) مورد استفاده قرار گرفت. برای خارج کردن آب اضافی از لایسی‌مترها، لوله زهکش به قطر ۵ سانتی‌متر و طول ۶۰ سانتی‌متر در عمق ۸۰ سانتی‌متری از سطح خاک نصب و به منظور جلوگیری از ورود ذرات خاک و شستشوی آن توسط جریان آب به درون لوله‌های زهکش از نوعی صافی ژئوتکستایل استفاده شد. علاوه بر صافی ژئوتکستایل، در جهت سهولت جریان تخلیه در اطراف لوله زهکش از پوشش گراول به ضخامت ۵ سانتی‌متر استفاده شد.

در تیمار FD خروجی زهکش آزاد بود ولی در تیمارهای کنترل سطح ایستابی (CD)، خروجی زهکش به وسیله تعبیه رایزرهایی در محل خروجی محدود گردید (شکل ۱). با تغییر طول رایزر امکان کنترل سطح آب در اعماق مختلف فراهم بود. جمع‌آوری و اندازه-گیری زه‌آب خروجی در تیمار FD، با استفاده از ظروفی در زیر لوله زهکش انجام شد. در تیمارهای CD، بوسیله نصب دو زانویی و یک لوله به انتهای رایزرها، زه‌آب خروجی به داخل ظروف جمع‌آوری زه‌آب هدایت گردید. طرح شماتیک لایسی‌مترها برای اعمال تیمارهای مختلف، در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱- نمای شماتیک لایسی‌مترهای تحت زه‌کشی آزاد (a) و زه‌کشی کنترل شده (b)

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک لایسی مته‌ها

منگنز	روی	آهن	سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	نیترژن	SAR	EC	pH
			(mg/Kg)					(%)		(dS/m)	
۸/۵	۲/۶۴	۵/۸۱	۶۱	۱۷	۱۶۰	۱۳۶	۱۰/۳	۰/۰۱۴	۱/۲۳	۰/۲	۷/۷

شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل و میانگین‌ها با آزمون دانکن (Duncan) مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

### نوسانات سطح ایستابی و زه‌آب خروجی

نوسانات سطح ایستابی در تیمارهای زه‌کشی کنترل شده در شکل ۲ نمایش داده شده است. همانطور که مشخص است، سطح ایستابی در دو تیمار CD به سطوح تراز کنترل سطح آب مورد نظر (۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک) نرسیده و لذا حجم زه‌آب خروجی برابر صفر بود. براساس قرائت‌های انجام شده، بعد از هر آبیاری، در اثر نفوذ عمقی آب مازاد، سطح ایستابی بالا آمده، اما تا زمان آبیاری بعد اکثر ذخیره رطوبتی مصرف شده و سطح ایستابی در اغلب موارد به نقطه اولیه برمی‌گشته است. این نتایج بیانگر آن است که، آب مازاد در شرایط زه‌کشی کنترل شده بر خلاف شرایط زه‌کشی آزاد که به زه‌آب تبدیل می‌شده عمدتاً بوسیله گیاه جذب شده است.

حجم کل زه‌آب خروجی در تیمار زه‌کشی آزاد برابر ۳۴/۸ درصد مقدار کل آبیاری گردید درحالی‌که حجم زه‌آب خروجی از تیمارهای CD40 و CD60 برابر صفر درصد کل آبیاری بود. هر قدر هم برای شبیه‌سازی لایسی‌متر به شرایط طبیعی تلاش شود، وجود جریان‌ات ترجیحی بخصوص از دیواره‌های لایسی‌مترها اجتناب ناپذیر خواهد بود، لذا در تیمار زه‌کشی آزاد بیشتر شدن درصد تلفات عمقی به صورت زه‌آب، از ۳۰ درصد تلفات عمقی در نظر گرفته شده، می‌تواند به دلیل وجود این جریان‌ات در نیمرخ خاک بوده باشد. گیلیام و همکاران (۸) بیان کردند، زه‌کشی کنترل شده در دوره‌های خشکسالی، ممکن است باعث حذف زه‌آب خروجی شود. همچنین داراز خان و همکاران (۷) به بررسی اثر متقابل زه‌کشی کنترل شده (تراز کنترل سطح ایستابی ۱ متر) و مقدار آبیاری بر نوسانات سطح ایستابی و عملکرد محصول در منطقه‌ای که دارای منابع آب محدود و افت سطح ایستابی زیاد (حدود ۵/۳ متر) بود، پرداختند. آنها اعلام کردند، مقادیر بالایی از تلفات آبیاری می‌تواند با روش زه‌کشی کنترل شده در خاک ذخیره و در دوره خشکی مصرف شود و از این طریق باعث افزایش محصول و کارایی مصرف آب گردد، اما بالا آمدن سطح ایستابی بسته به موقعیت زمین و میزان آبیاری دارد.

اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از دستگاه Profile Probe (type PR2) انجام شد. به دلیل در دسترس نبودن لوله استاندارد برای دستگاه Profile Probe، از لوله پلیکا به عنوان جایگزین استفاده شد. دستگاه Profile Probe و لوله پلیکا برای خاک مورد آزمایش با روش وزنی واستحی شد که رابطه آن در زیر ارائه شده است:

$$y = 2.055x + 8.854 \quad R^2 = 0.96 \quad (1)$$

که در آن  $y$ ، مقادیر اندازه‌گیری وزنی رطوبت و  $x$ ، رطوبت اندازه‌گیری شده با دستگاه است. لازم به ذکر است در این رابطه رطوبت‌ها برحسب درصد رطوبت حجمی می‌باشد.

بدین ترتیب رطوبت حجمی خاک در ۸ عمق ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ سانتی‌متر در طول دوره اعمال تیمار قرائت و مقادیر آبیاری تعیین می‌شد. آبیاری مورد نیاز در هر نوبت براساس قرائت رطوبت، در هر یک از لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری نیمرخ خاک محاسبه و از طریق رابطه زیر تعیین می‌گردید. در نهایت، مقدار آبیاری خالص کل محاسبه و پس از منظور داشتن راندمان، مقدار کل آبیاری محاسبه می‌شد.

$$d_n = \sum_{i=1}^8 10 \times (\theta_{FC} - \theta_i) \quad (2)$$

که  $d_n$ : مقدار آبیاری خالص در هر نوبت،  $\theta_{FC}$ : مقدار رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی و  $\theta_i$ : مقدار رطوبت حجمی خاک در هر لایه می‌باشد.

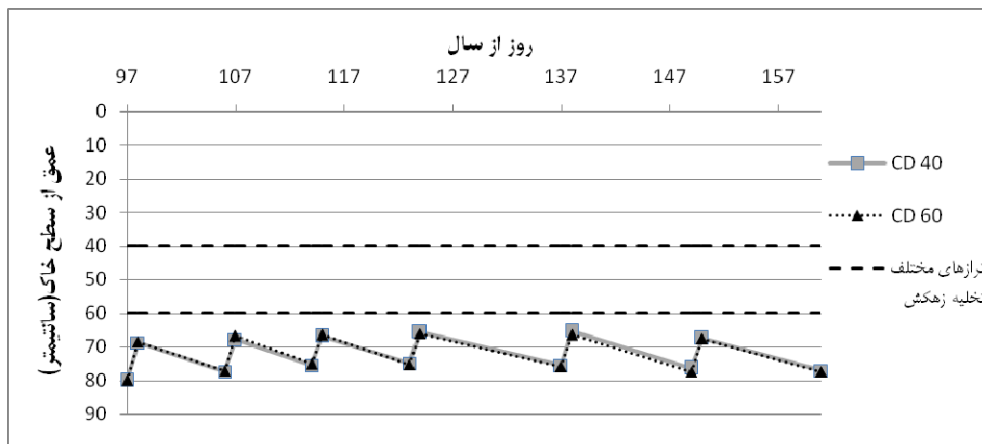
بدین ترتیب نحوه محاسبه مقادیر آبیاری و همچنین وضعیت اولیه رطوبت خاک در کلیه تیمارها مشابه در نظر گرفته شد. در طول دوره اعمال تیمار، میزان آبیاری و زه‌آب خروجی در تمام تیمارها اندازه‌گیری می‌شد.

برای محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از معادله زیر استفاده شد (۱۳):

$$IWUE = \frac{Y}{I} \quad (3)$$

که در آن  $IWUE$ : کارایی مصرف آب آبیاری بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب،  $Y$ : عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم و  $I$ : کل آب آبیاری در طول فصل رشد بر حسب مترمکعب می‌باشد.

در تاریخ ۶ شهریور ماه ۱۳۸۹ محصول برداشت شد. سپس وزن تر و خشک علفه ذرت، ارتفاع ذرت و وزن خشک ریشه در لایه‌های مختلف با استفاده از ترازوی‌های دیجیتالی و با دقت بالا اندازه‌گیری



شکل ۲- نوسانات سطح ایستابی در تیمارهای CD60 و CD40

عملکرد علوفه در تیمارهای CD40 و CD60 به ترتیب ۱/۶ و ۱/۷ برابر وزن خشک علوفه در تیمار FD می‌باشد. حسین پور و امامزاده‌ای (۲) نشان دادند، کنترل سطح ایستابی در عمق ۶۰-۶۵ سانتی‌متری یک خاک لومی به روش زه‌کشی کنترل شده، باعث افزایش معنی داری در عملکرد سویا در مقایسه با زه‌کشی آزاد گردید. همچنین اسکگز و همکاران (۱۶) دو تیمار زه‌کشی کنترل شده و زه‌کشی آزاد را در ۴ هکتار خاک لوم شنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، عملکرد گوجه فرنگی و ذرت در تیمار زه‌کشی کنترل شده به ترتیب ۴۴ و ۶۴ درصد بیشتر از تیمار زه‌کشی آزاد بود.

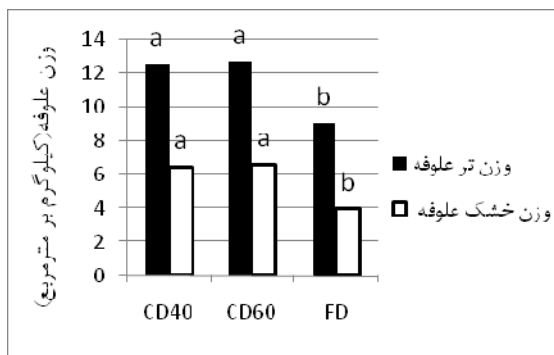
### عملکرد

نتایج جدول آنالیز واریانس (جدول ۲) نشان داد، مدیریت سطح ایستابی بر روی وزن تر و خشک علوفه و همچنین ارتفاع گیاه در سطح ۱٪ اثر معنی‌داری داشته است. اثر مدیریت آبیاری بر روی وزن خشک و تر علوفه در شکل ۳ و بر روی ارتفاع ذرت در شکل ۴ نمایش داده شده است. میانگین وزن خشک و تر علوفه و ارتفاع ذرت در تیمارهای CD دارای اختلاف معنی‌داری در مقایسه با تیمار زه‌کشی آزاد می‌باشد، اما به دلیل شرایطی که در قسمت قبل شرح داده شد، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای CD مشاهده نمی‌شود. وزن خشک

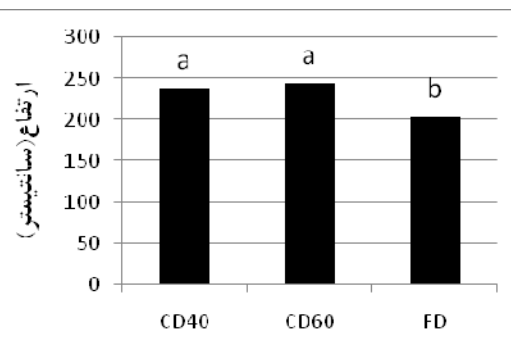
جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای گیاهی و مقدار آبیاری در پاسخ به روش زه‌کشی

میانگین مربعات (M.S)					منابع تغییرات
وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	وزن خشک علوفه	مقدار آبیاری ناخالص	درجه آزادی	
۴۶۴۳۸/۲۲**	۱۵۳۹/۴۲**	۰/۵۸**	۸۰۰/۹۴**	۲	مدیریت سطح ایستابی
۱	۲/۸۴	۰/۰۰۴	۳/۰۸	۶	خطا

ns و \*\* و \*\*\*: بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.



شکل ۴- ارتفاع ذرت در انتهای فصل در تیمارهای مختلف



شکل ۳- وزن تر و خشک علوفه در تیمارهای مختلف<sup>۱</sup>

۱- حروف انگلیسی درج شده در بالای نمودارهای ستونی ارائه شده در این تحقیق، بیانگر سطوح معنی‌دار بودن بین تیمارهای مختلف و در سطح احتمال ۱ درصد است.

کاهش نسبی عملکرد تیمار FD را می‌توان بعلت عدم دسترسی به آب کافی با توجه به حد تخلیه رطوبتی اعمال شده ( $MAD=0/65$ ) دانست. ذرت گیاهی است که در هنگام مواجهه با تنش خشکی بلافاصله برگ‌های خود را جمع و لوله‌ای شکل می‌نماید. در تیمار FD قبل از اعمال آبیاری‌ها بوضوح برگ‌های لوله‌ای شکل ذرت مشاهده می‌شد که نشان از تنش خشکی در این تیمار داشت. در حالی که برگ‌های ذرت در تیمارهای CD، در قبل از آبیاری‌ها نشان از شادابی گیاه داشت. در واقع زهکشی کنترل شده با کنترل دبی خروجی موجب می‌گردد ذخیره رطوبت در خاک محفوظ بماند و تلفات ازت و کودهای شیمیایی که از طریق زه‌آب انجام می‌شود به حداقل برسد، بدین ترتیب گیاه می‌تواند از خطر کمبود آب، با توجه به آب و کود ذخیره شده در امان بماند (۴).

### کارایی مصرف آب آبیاری

مقادیر ناخالص آبیاری در تیمارهای مختلف در نمودار شکل ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدیریت سطح ایستابی بر حجم آبیاری ناخالص در سطح یک درصد معنی دار است. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن نشان داد، تیمارهای کنترل سطح ایستابی با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند ولی اختلاف معنی داری بین تیمار CD40 و CD60 وجود ندارد.

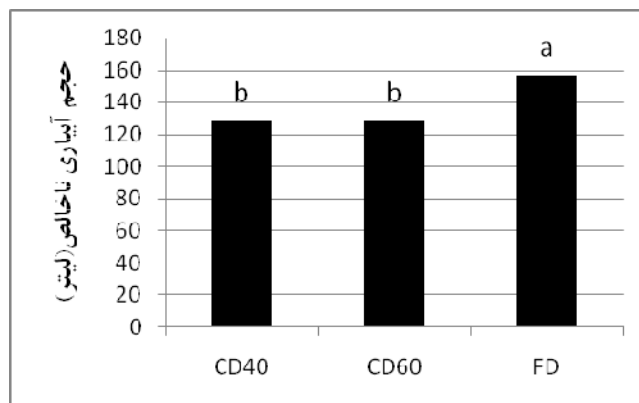
اعمال کنترل در تیمارهای CD باعث گردیده تا از خروج تلفات آبیاری جلوگیری شده و زمینه ذخیره بیشتر رطوبت در خاک فراهم شود. ذخیره آب، طی روزهای بین دو آبیاری از طریق صعود موئنه، باعث توزیع مجدد رطوبت نیمرخ خاک شده و علی‌رغم طولانی بودن دور آبیاری، با توجه به ضریب تخلیه رطوبتی اعمال شده، تیمارهای CD از کمبود رطوبتی کمتری رنج بردند. بدین ترتیب حجم آبیاری ناخالص تیمار FD، نسبت به تیمارهای CD به ترتیب ۱۲/۷ درصد بیشتر شده است.

مصرف خالص (تبخیر و تعرق) در تیمار FD، با در نظر گرفتن مقدار زه‌آب خروجی و مقدار آبیاری ناخالص و در تیمارهای زه‌کشی کنترل شده با احتساب مقدار آب ذخیره شده در خاک و حجم ناخالص آبیاری محاسبه گردید. بر این اساس مصرف خالص در تیمارهای FD، CD40 و CD60 به ترتیب ۳۴۰/۳۴، ۳۱۶/۱۲ و ۴۱۶/۶۱ میلی‌متر به دست آمد (شکل ۶). علی‌رغم حجم آبیاری ناخالص بیشتر در تیمار FD، این تیمار دارای مصرف خالص کمتری نسبت به سایر تیمارها می‌باشد زیرا هر چه آب راحت‌تر در اختیار گیاه باشد شدت تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد.

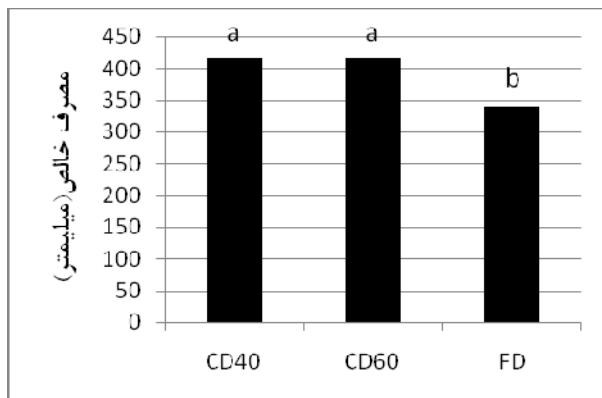
از آنجاکه قبل از اعمال تیمار براساس تشت تبخیر کلاس A، به تمامی تیمارها ۶۵/۵ لیتر آب داده شد که این مقدار نیز، در محاسبه کل آب آبیاری در طول فصل و در نتیجه کارایی مصرف آب آبیاری منظور گردیده است.

نتایج نشان داد، کم بازده‌ترین تیمار، تیمار FD با کارایی مصرف آب ۵/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. کارایی مصرف آب برای تیمارهای CD40 و CD60 به ترتیب ۹/۸۷ و ۱۰/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد (شکل ۷).

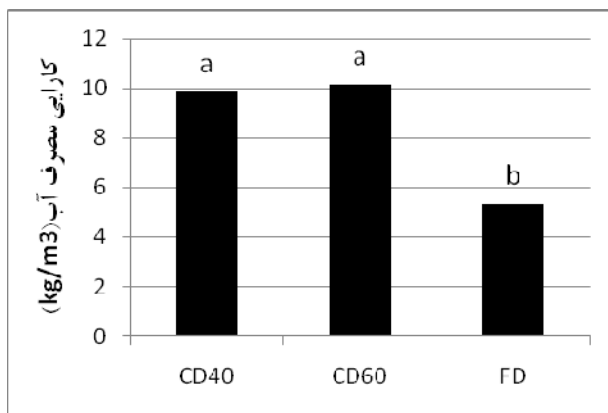
به عبارتی کارایی مصرف آب تیمارهای CD40 و CD60 به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۹ برابر کارایی مصرف آب تیمار زه‌کشی آزاد می‌باشد. بنابراین تیمارهای زه‌کشی کنترل شده علاوه بر این که آب کمتری مصرف نموده‌اند، دارای عملکرد بیشتری نیز بوده‌اند و در نتیجه از کارایی مصرف آب بالاتری نیز برخوردار می‌باشند. اسمعیل نیا و همکاران (۱) در یک مطالعه لایسی‌متری، به مقایسه زه‌کشی کنترل شده، آبیاری زیرزمینی و زه‌کشی آزاد در یک خاک لومی تحت کشت گوجه فرنگی پرداختند. نتایج نشان داد، کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری زیرزمینی ( $2/01 \text{ kg/m}^3$ ) و زه‌کشی کنترل شده ( $0/97 \text{ kg/m}^3$ ) بیشتر از زه‌کشی آزاد ( $0/56 \text{ kg/m}^3$ ) بود.



شکل ۵- حجم ناخالص آبیاری در تیمارهای مختلف در طی اعمال تیمار



شکل ۶- مصرف خالص آب در تیمارهای مختلف طی اعمال تیمار



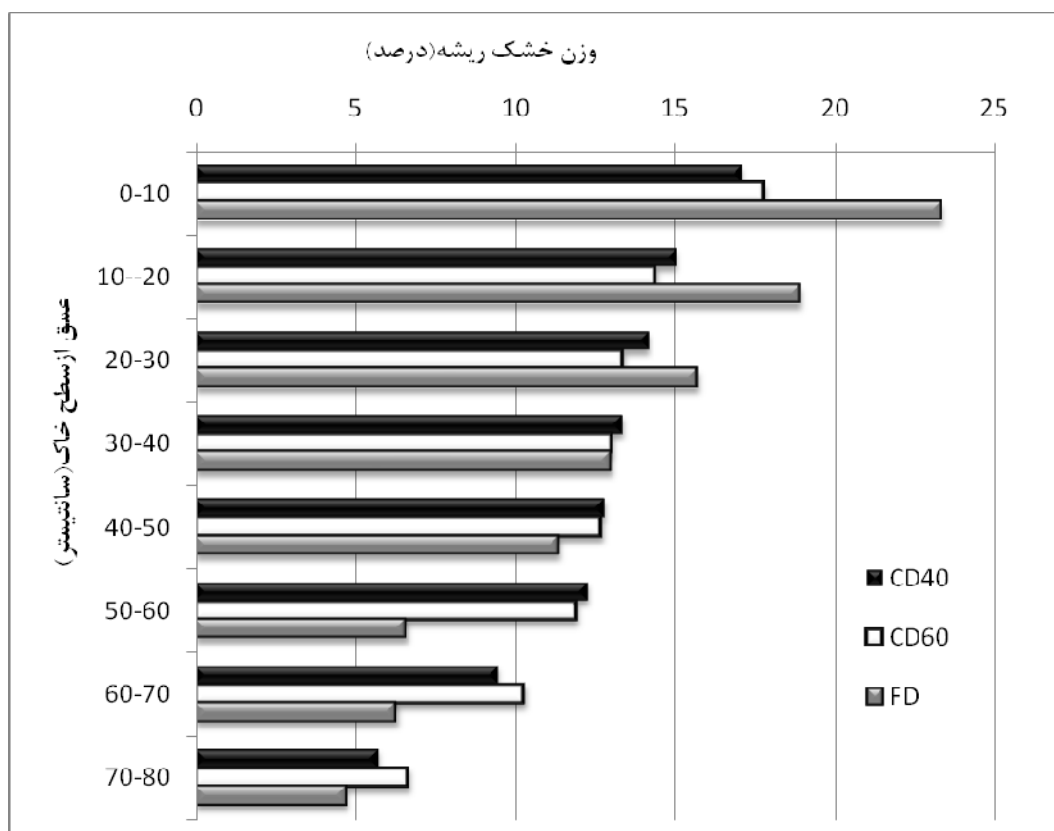
شکل ۷- کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف طی اعمال تیمار

زه‌کشی کنترل شده که دارای تبخیر و تعرق بیشتری بوده‌اند، عملکرد و تراکم ریشه بیشتری نیز دارند. الگوی توزیع ریشه در تیمار FD تا حدود زیادی از الگوی متداول ۴۰-۳۰-۲۰-۱۰ درصد پیروی می‌نماید اما در تیمارهای CD، الگوی توزیع ریشه به دلیل ذخیره رطوبتی بیشتر در قسمت تحتانی توسعه ریشه دستخوش تغییر شده است. بنابراین، تراکم ریشه در قسمت تحتانی ریشه تفاوت محسوسی نسبت به تیمار FD داشت. این موضوع بیان‌گر این واقعیت است که علی‌رغم اینکه سطح ایستابی در لایه‌های پایین‌تر از عمق ۶۰ سانتی‌متر بوده، اما به دلیل عدم تخلیه آب اضافی و وجود صعود مویینگی، رطوبت بیشتر در قسمت فوقانی ریشه باعث ترغیب بیشتر رشد ریشه در اعماق بالاتر از ۶۰ سانتی‌متر شده است. شریفی و همکاران (۳) نیز، در تحقیقی در یک خاک سیلتی لوم و تحت کشت سورگوم نشان داد، زه‌کشی کنترل شده می‌تواند الگوی توزیع ریشه را تا حدود زیادی دستخوش تغییر نماید. به گونه‌ای که در زه‌کشی کنترل شده (که تراز کنترل سطح ایستابی در عمق ۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک بود) در لایه‌های بالای سطح ایستابی به دلیل وجود شرایط صعود مویینه بهتر، درصد بیشتری از ریشه نسبت تیمار زه‌کشی آزاد وجود داشت و همچنین اینکه در تیمار زه‌کشی کنترل شده حدود ۹۸ درصد توزیع ریشه در ۴۰ سانتی‌متر اول بود.

جهت تعیین الگوی توزیع ریشه، خاک لایسی‌مترها به صورت لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری خارج گردید و سپس با استفاده از یک الک، ریشه‌های هر لایه از خاک، جدا و پس از شستشو، درون آون قرار داده شد. اثر مدیریت سطح ایستابی بر وزن خشک ریشه در سطح ۱ درصد معنی دار است. وزن خشک ریشه در تیمار FD، CD40 و CD60 به ترتیب برابر ۴۹۳/۵، ۷۰۶/۲ و ۷۱۲/۶ گرم به دست آمد. مقایسه میانگین وزن خشک ریشه در تیمارهای گوناگون نیز اختلاف معنی‌دار را بین تیمارهای CD با تیمار FD نشان می‌دهد. اما همانطور که اشاره شد، به دلیل یکسان بودن شرایط بین تیمارهای CD اختلاف معنی‌داری بین تیمار CD40 و CD60 مشاهده نمی‌شود.

#### الگوی توزیع ریشه

الگوی توزیع ریشه در شکل ۸، برحسب درصد وزن خشک ریشه نشان داده شده است. به طور کلی وزن خشک ریشه کل نیم‌رخ خاک در تیمار FD از تیمارهای CD40 و CD60 به ترتیب به میزان ۴۳/۱ و ۴۴/۴ درصد بیشتر است. عملکرد گیاه نسبت مستقیمی با تراکم ریشه دارد زیرا گیاه برای افزایش تراکم ریشه‌های خود نیاز به انرژی دارد. این انرژی از طریق فتوسنتز تامین می‌گردد و لازمه فتوسنتز، باز بودن روزنه‌ها برای جذب دی‌اکسیدکربن و تعرق می‌باشد لذا تیمارهای



شکل ۸- الگوی توزیع ریشه در تیمارهای مختلف بر حسب درصد وزن خشک ریشه

مصرف خالص گیاه در تیمارهای زه‌کشی کنترل شده نسبت به تیمار شاهد بیشتر باشد. این افزایش تبخیر و تعرق در تیمارهای CD، باعث افزایش عملکرد و رشد ریشه نسبت به تیمار FD شد. عدم خروج زه آب از تیمارهای CD یک مزیت بزرگ در راستای حفظ محیط زیست و کاهش صرف هزینه‌های کلان در جهت دفع و مدیریت زه آب می‌باشد. مدیریت آب در تیمارهای CD باعث تغییر در الگوی توزیع ریشه را شد. کارایی مصرف آب تیمارهای CD40 و CD60 به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۹ برابر کارایی مصرف آب تیمار زه‌کشی آزاد است که این نتیجه، دال بر بازدهی روش زه‌کشی کنترل شده نسبت به روش‌های مرسوم زه‌کشی است. در نهایت می‌توان اظهار داشت روش زه‌کشی کنترل شده، شیوه‌ای در راستای مدیریت بهینه و جامع منابع آب کشور و همچنین روشی مناسب برای اصلاح سیستم‌های زه‌کشی سنتی موجود در جهت افزایش بازدهی اقتصادی و زیست محیطی و همچنین حفظ منابع آبی کشور می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

به دلیل تفاوت موجود در وضعیت زه‌کشی تیمارها، زه آب تولیدی و نگهداشت رطوبت در بین آبیاری‌ها متفاوت بود. در شرایطی که، میزان تلفات آبیاری در حد زیادی باشد با کنترل کردن میزان زه‌کشی، سطح آب موجود در لایه تحتانی می‌تواند تا تراز زهکش‌های کنترل شده بالا بیاید. در این مطالعه به دلیل مصرف آب از لایه‌های تحتانی در شرایط زه‌کشی کنترل شده، محدود بودن میزان تلفات آبیاری (در طول یک فصل اعمال تیمار) و بلندمدت نبودن آزمایش، سطح آب در حد تراز زهکش‌ها بالا نیامد ولی تفاوت موجود در بین تیمارها در میزان مصرف مفید گیاه و زه آب تولیدی در مقایسه با زه‌کشی آزاد بود. مدیریت سطح ایستابی بر روی حجم آبیاری، حجم زه آب خروجی، وزن خشک و تر علوفه، وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در سطح یک در صد معنی‌دار بود. حجم آبیاری ناخالص در تیمار FD نسبت به تیمارهای CD بیشتر بود اما عدم تخلیه آب در تیمارهای CD، باعث گردید که آب بیشتری در اختیار گیاه قرار گیرد و در نتیجه



## منابع

- ۱- اسمعیل نیا س.، لیاقت ع.، حیدری ن. و اکرم م. ۱۳۸۴. مطالعات لایسی متری روش‌های سطح ایستابی برای آبیاری گوجه فرنگی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۶ (۲۳): ۲۳-۱۳.
- ۲- حسین پور ف. و نوری امامزاده‌ای م. ر. ۱۳۸۷. مقایسه تاثیر زه‌کشی آزاد (سنتی) و زه‌کشی کنترل شده بر عملکرد سویا. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. بهمن ۱۳۸۷.
- ۳- شریفی ن. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر توامان شوری آب آبیاری و عمق سطح ایستابی در عملکرد محصول سورگوم. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج. دانشگاه تهران.
- ۴- علیزاده ا. ۱۳۸۴. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.
- ۵- نوری ح.، لیاقت ع.، فرداد ح. و چایی‌چی م. ۱۳۸۶. بهبود کیفیت آب زه‌کشی با استفاده از مدیریت سطح ایستابی در یک منطقه نیمه خشک ایران. مجله آبیاری و زه‌کشی ایران، سال اول - شماره یک. صفحه ۴۸-۴۱.
- 6- Ahonen J. 1991. Application of controlled drainage and subirrigation in Finland. MSc Thesis, Helsinki Univ. of Technology. Lab. of Water Resources Engineering. Espoo. Finland
- 7- Daraz Khan G., Latif M., and Hassan S. 2003. The Role of controlled drainage under drought conditions in an irrigated area in NWFP, Pakistan. *Irrig. and Drain.* 52: 147-162.
- 8- Gilliam J.W., and Skaggs R.W. 1986. Drainage control to reduce nitrate loss from agricultural field. *Journal of environmental Quality* 8 (1): 137-142.
- 9- 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: 73-89.
- 10- Ng H.Y.F., Tan C.S., Drury C.F., and Gaynor J.D. 2001. Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in a sandy loam soil in Southwestern Ontario. *J. Agriculture, Ecosystems and Environment*. 90, 81-88.
- 11- Parsons J. E., Skaggs R.W., and Doty E.W. 1990. Simulation of controlled drainage in open - ditch drainage systems. *Agric. Water Manage.* 18: 301-316.
- 12- Patel R.M., Prasher S.O., and Bonnell R.B. 2000. Effect of water table depth, irrigation water salinity, and fertilizer application on root zone salt buildup. *Canadian Agricultural Engineering Vol. 42. No.3 July/August/September*: 111-115.
- 13- Payero J.O., Tarkalson D.D., Irmak S., Davison D., and Petersen J.L. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agric. Water Manage.* 96, 1387-1397.
- 14- Ramoska E., Bastiene N., and Saulys V. 2009. Evaluation of controlled drainage efficiency in Lithuania.
- 15- Skaggs, R.W., N.R. Fausey, and B.H. Nolte. 1981. Water management model evaluation for north central OH. *Trans. ASAE* 24, 922-928.
- 16- Skaggs R.W. 1999. Water table management: Subirrigation and controlled drainage. In: Skaggs, R.W. and van Schilfhaarde, J. (eds.), *Agricultural Drainage*. pp. 695-718.
- 17- 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, Lamberton Minnesota.
- 18- Wesström I., Messing I., Linnerar H., and Lindstroem J. 2000. Controlled drainage effects on drain outflow and water quality. *Agr. Water Manage.* 47, 85 - 100.



## Impact of Subsurface Water Management on Drainage Water, Crop Yield, Root Distribution Pattern, Evapotranspiration and Water Use Efficiency (Case study: Maize - Karaj)

H. Molavi<sup>1\*</sup> - M. Parsinejad<sup>2</sup> - A. Liaghat<sup>3</sup>

Received: 2-11-2010

Accepted: 14-6-2011

### Abstract

One of the ways to increase economic and environmental efficiency of drainage systems is water table management. Water table management consists of, controlled drainage and subirrigation. This study examines the effect of controlled drainage on yield, root distribution pattern and water use efficiency of maize (SC 704) in Karaj. The experiment was performed as a randomized complete design with three replicates including three treatments: free drainage (FD) and controlled drainage with 40 cm (CD40) and 60 cm (CD60) controlled water tables. Lysimetric station is equipped with drainage system and water table control system. Irrigation intervals in all of the lysimeters were based on MAD = 0.65 in FD treatment. For all treatments, irrigation depths were determined based on deficiency of soil moisture from field capacity with 70 percent application efficiency. The results showed that 30 percent irrigation losses during implementation of treatments in CD treatments did not cause rise of the water table to the desired control levels, due to extra consumption of plant. So between two water table control treatments there was no significant difference. In free drainage treatment which drainage water discharge was facilitated lower plant consumption were noted. Effect of water table management on yield, irrigation amount, root dry weight and water use efficiency was significant ( $p < 0.01$ ). Volume of drainage water in FD treatment was 34.8 percent of total gross irrigation and in CD treatments was zero percent. Despite the fact that amount of gross irrigation in FD treatment was more than CD treatments, but useful consumption was higher in CD treatments. Dry weight of silage in FD, CD40 and CD60 treatments were 3.94, 6.38 and 6.56 kg/m<sup>2</sup>, respectively. Total root dry weight of FD treatment compared to CD treatments was 43.7 percent more. Also water table management led to remarkable changes in root distribution pattern in CD treatments compared to FD treatment. Lowest water use efficiency was in FD treatment with 5.32 Kg/m<sup>3</sup> while in CD40 and CD60 treatments were 9.87 and 10.16 Kg/m<sup>3</sup>, respectively. Finally results showed that management strategies of drainage water discharge using controlled drainage, in addition to control of amount of drainage water can be effective on water use efficiency of plants.

**Keywords:** Controlled drainage, Maize, Yield, Water use efficiency, Root distribution pattern

---

1,2,3-MSc Student, Assistant Professor and Professor, Department of Irrigation Engineering, Agriculture and Natural Resources (Karaj), University of Tehran, Respectively  
(\* - Corresponding Author Email: molavimossein@gmail.com)