

## کاهش جریان و تلفات نیترات با زهکشی کنترل شده در نواحی خشک و نیمه خشک ایران

عدنان صادقی لاری<sup>۱\*</sup>، هادی معاضد<sup>۲</sup>، عبدعلی ناصری<sup>۳</sup>، عبدالمجید لیاقت<sup>۴</sup> و سیروس جعفری<sup>۵</sup>

- ۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز  
 ۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز  
 ۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز  
 ۴- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
 ۵- استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱۰

### چکیده

اقداماتی که در راستای مدیریت سطح ایستابی به منظور کاهش حجم زه‌آب‌ها و تلفات نیترات طی دهه اخیر انجام شده است، منجر به تضمین پایداری سیستم‌های آبیاری و زهکشی و نیز حفاظت اکوسیستم‌ها گردیده است. در این پژوهش دو روش مدیریت سطح ایستابی شامل زهکشی زیرزمینی آزاد و زهکشی کنترل شده در سطح ۶۳/۴۱ هکتار در مزارع کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) واقع در استان خوزستان، به کار برده شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل یک تیمار زهکشی آزاد (FD)، و دو تیمار زهکشی کنترل شده با کنترل سطح ایستابی در اعماق ۹۰ سانتی‌متری (CD90) و ۷۰ سانتی‌متری از سطح خاک (CD70) بود. حجم زه‌آب خروجی از زهکش‌ها، غلظت ازت نیتراتی، عمق سطح ایستابی و میزان مصرف آب آبیاری در طول دوره مطالعه اندازه‌گیری شد. با اجرای زهکشی کنترل شده، میزان کل جریان خروجی زهکشی تیمارهای CD70 و CD90 به ترتیب به میزان ۶۲/۴۸ و ۴۸/۹۸ درصد در مقایسه با تیمار زهکشی آزاد کاهش یافت، کل میزان تلفات ازت نیتراتی در جریان خروجی از زهکش‌ها در تیمارهای CD70 و CD90 به ترتیب به میزان ۵۸/۴۳ و ۴۷/۲۵ درصد نسبت به زهکشی آزاد کمتر بود، کل آب مصرفی در مزارع کنترل شده CD70 و CD90 به ترتیب به میزان ۲۵/۶۴ و ۲۷/۶۷ درصد نسبت به مزرعه با زهکشی آزاد کاهش نشان داد. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که کاربرد زهکشی کنترل شده در مقیاس بزرگ منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در حجم زه‌آب و تلفات مواد مغذی در نواحی خشک و نیمه خشک ایران می‌گردد که افزایش منافع اقتصادی و محیط زیستی فراوانی در مقایسه با سیستم‌های غیر مدیریت شده در پی خواهد داشت.

کلید واژه‌ها: زهکشی کنترل شده، حجم زه‌آب، تلفات ازت نیتراتی، مدیریت سطح ایستابی.

## Flow and Nitrate Losses Reduction using Controlled Drainage in the Arid and Semi-Arid Areas of Iran

A. SadeghiLari<sup>1</sup>, H. Moazed<sup>2</sup>, A. A. Naseri<sup>3</sup>, A. M. Liaghat<sup>4</sup>, and S. Jafari<sup>5</sup>

- 1- Ph.D. Student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.  
 2- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.  
 3- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.  
 4- Professor, Department of Water and Soil Engineering, Agriculture Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.  
 5- Assistant Professor, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Ramin University, Khuzestan, Iran.

Received: 31.May.2012

Accepted: 3.Oct.2013

### Abstract

Practices of water table management to reduce the drainage volume and nitrate losses have caused to ensure the sustainability of irrigation and protection of associated ecosystems over the past decade. In this research, two water table management methods including free conventional subsurface drainage and

controlled drainage was applied in the 63.41 ha field of the Imam Khomeini's Sugarcane Agro-industry, located in Khuzestan Province. Experimental treatments were a free drainage treatment (FD) and two controlled drainage treatments with water table controls set at 90 centimeter (CD90) and 70 centimeter (CD70) below the soil surface. Drainage outflow, nitrate nitrogen concentration, water table elevation and applied irrigation water amount were measured during study period. With the usage of controlled drainage, the total drain outflow from CD70 and CD90 area was decreased 62.48 and 48.98%, respectively compared with CD. The total of nitrate-nitrogen losses in drain outflow in CD70 and CD90 treatments was 58.43% and 47.25 %, respectively less compared with CD. The total applied water was decreased in CD70 and CD90 treatments 25.64 and 27.67 % compared with CD. The results of this study indicated that large-scale application of controlled drainage systems lead to significant reduction in drainage volumes and nitrate loads as well as increase the potential for economic and environmental benefits compared to unmanaged systems in arid and semi-arid regions of Iran.

**Keywords:** Controlled drainage, Drainage volume, Nitrate-nitrogen losses, Water table management.

### مقدمه

انتظار می‌رود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۱۰ میلیارد نفر برسد و بیشترین رشد در کشورهای در حال توسعه اتفاق خواهد افتاد (بی‌نام، ۱۹۹۲). جهت تدارک غذای کافی برای جمعیت آینده، افزایش تولید در واحد سطح اراضی فاریاب بسیار مهم می‌باشد. در نواحی جنوب غربی ایران سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در مقیاسی بزرگ با هدف ایجاد کشاورزی پایدار و پیشینه کردن عملکرد محصول اجرا شده است. در عین حال، استفاده از کودهای شیمیایی جهت حفظ حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول امری بسیار ضروری شده است.

در سیستم زهکشی زیرزمینی پتانسیل برای آیشویی نیترات و در نتیجه آلودگی آب‌های سطحی بسیار زیاد است. دلیل این امر حلالیت بالای نیترات بوده، که به آسانی از طریق زهکشی‌های زیرزمینی خارج می‌شود. تحقیقات قبلی نشان داده است که کل جریان خروجی زهکشی عامل اولیه در تلفات نیترات می‌باشد (دروری و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶؛ اوان و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵؛ تان و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۳). مدیریت سطح ایستابی<sup>۴</sup> در قالب زهکشی کنترل شده موجب بهبود کیفیت آب زهکشی در کارولینای شمالی<sup>۵</sup> گردید و زهکشی کنترل شده به عنوان "بهترین شیوهی مدیریت"<sup>۶</sup> شناخته شد، به نحوی که منجر به نصب بیش از ۲۰۰ هزار هکتار زهکشی‌های کنترل شده از سال ۱۹۸۵ به بعد در این ایالت گردید (اوان و همکاران، ۱۹۹۰؛ گیلیام و همکاران<sup>۷</sup>، ۱۹۷۹).

بونایتی و بورین<sup>۸</sup> (۲۰۱۰) روش زهکشی کنترل شده و آزاد را در شمال شرقی ایتالیا مورد آزمایش قرار دادند. تیمارهای آزمایش شامل: زهکشی‌های موج‌دار زیرزمینی با زهکشی آزاد و بدون آبیاری (S)، زهکشی‌های روباز با زهکشی آزاد و بدون آبیاری (O)، زهکشی‌های موج‌دار زیرزمینی با زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی (S-Cl) و

زهکشی‌های روباز با زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی (O-Cl) بودند. نتایج تحقیقات آن‌ها پایین‌ترین میزان غلظت ازت نیتراتی زه‌آب خروجی و کمترین تلفات ازت نیتراتی به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار را در تیمار O-Cl نشان داد همچنین بیشترین میزان غلظت ازت نیتراتی با ۷۰ کیلوگرم بر هکتار تلفات ازت نیتراتی در تیمار S-Cl مشاهده گردید (۲).

لو و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۰) اطلاعات به دست آمده از یک مطالعه مزرعه‌ای شش ساله در جنوب مینی‌سوتا مرکزی را جهت مدل کردن روش‌های زهکشی متفاوت با مدل DRAINMOD-NII به کار بردند. نتایج آن‌ها نشان داد میزان تلفات ازت نیتراتی متناسب با میزان جریان خروجی زهکشی می‌باشد. زهکشی کم‌عمق و کنترل شده هر دو به عنوان دو روش جایگزین زهکشی مرسوم، توسط این محققین جهت کاهش میزان جریان زهکشی سالیانه و تلفات نیترات پیشنهاد گردید.

لیو و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۱) درصد رطوبت، عملکرد گیاه و تلفات نیترات را تحت شرایط زهکشی آزاد و کنترل شده با به‌کارگیری آبیاری زیرزمینی با استفاده از مدل DSSAT<sup>۱۱</sup> نسخه ۴/۵ شبیه‌سازی کردند. آن‌ها مدل مذکور را با استفاده از آزمایش‌های چهار ساله و داده‌های اندازه‌گیری شده واسنجی و اعتبارسنجی نموده و اظهار داشتند مدل DSSAT می‌تواند عملکرد گیاهان ذرت و سویا، درصد رطوبت خاک ناحیه ریشه و تلفات تجمعی نیترات را به ترتیب با درجه عالی، خوب و قابل قبول برای هر دو سیستم زهکشی آزاد و کنترل شده شبیه‌سازی نماید.

فنگ و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۱) اثر زهکشی کنترل شده، شدت‌های متفاوت کاربرد کود ازته و شرایط آب و هوایی گوناگون بر تلفات ازت از زهکشی‌های زیرزمینی را با استفاده از مدل

- 1- Drury et al.
- 2- Evans et al.
- 3- Tan et al.
- 4- Water Table Mangement (WTM)
- 5- North Carolina
- 6- Best Management Practice
- 7- Gilliam et al.
- 8- Bonaiti & Borin

- 9- Luo et al.
- 10- Liu et al.
- 11- Decision Support System Agrotechnology Transfer
- 12- Fang et al.



شکل ۱- سازه‌ی کنترل سطح ایستابی

آبیاری از طریق کانال‌های بتنی به مزارع منتقل می‌شود و سپس توسط لوله‌های درجه‌دار پلاستیکی در سطح هر مزرعه توزیع می‌گردد. زهکش‌های جانبی (لوله‌های موج‌دار پلاستیکی پوشیده شده با فیلتر شنی) هر مزرعه در عمق متوسط ۲/۱ متری (۱/۸ متر در ابتدا و ۲/۴ متر در انتها) و فواصل تقریباً ۷۵ متری کار گذاشته شده‌اند، که به صورت مستقیم به جمع‌کننده‌های روباز تخلیه می‌شوند.

#### تجهیزات کنترل سطح ایستابی

همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، یک سازه کنترل سطح ایستابی ساخته شده از لوله پولیکا طراحی گردید، که شامل سه راهی ۹۰ درجه با درپوش انتهایی، لوله عمودی<sup>۶</sup> با ارتفاع ثابت و زانوی ۹۰ درجه نصب شده در انتهای هر زهکش جانبی بودند. در این سازه کنترل، تا زمانی که تراز سطح ایستابی از حداقل تراز سطح ایستابی دلخواه، که همان تراز قسمت سوم سازه کنترل می‌باشد، تجاوز نکند هیچ‌گونه جریان خروجی زهکشی رخ نخواهد داد.

#### مدیریت سطح ایستابی

دو روش مدیریت سطح ایستابی در قالب سه تیمار در اراضی کشت و صنعت امام خمینی به کار برده شد: تیمار اول: زهکشی آزاد<sup>۷</sup> (FD) به عنوان تیمار شاهد، تیمار دوم: زهکشی کنترل شده با کنترل سطح ایستابی در عمق ۷۰ سانتی‌متری از سطح خاک (CD70) و تیمار سوم زهکشی کنترل شده با کنترل سطح ایستابی در عمق ۹۰ سانتی‌متری از سطح خاک (CD90). هر یک از تیمارها در یک سطح حدود ۲۱ هکتار، که با چهار زهکش آب

<sup>۱</sup>RZWQM2 و اطلاعات اندازه‌گیری شده سه ساله در مزارع زیر کشت ذرت و سویا شبیه‌سازی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل تطابق قابل قبولی را با اندازه‌گیری‌های صحرائی نشان می‌دهد و مدیریت زهکشی کنترل شده با کاهش شدت کاربرد ازت می‌تواند به صورت قابل توجهی تلفات ازت به محیط زیست را با تأثیر منفی بسیار اندک بر عملکرد ذرت، تقلیل دهد. کروگر و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) تلفات ازت نیتراتی به اکوسیستم‌های ساحلی را با بکارگیری سرریزهای مستطیلی<sup>۳</sup> جهت کنترل زهکشی در اراضی با زهکش روباز مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها اظهار داشتند که این سیستم برای نهرهای زهکشی سطحی است که ظرفیت نگهداشت هیدرولیکی را افزایش داده و به طور بالقوه می‌تواند شرایط را جهت تبدیل و تغییر بیوژئوشیمیایی<sup>۴</sup> بهبود بخشد. بنابراین زهکشی کنترل شده قادر است در مقایسه با زهکشی آزاد<sup>۵</sup>، کاهش غلظت و تلفات نیترات را فراهم نماید. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات زهکشی کنترل شده بر روی سه پارامتر اساسی نوسانات سطح ایستابی، جریان خروجی زهکشی و تلفات نیترات از زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه آن با زهکشی آزاد تحت شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### محل انجام آزمایش و توصیف کلی سیستم آبیاری و زهکشی

تحقیق حاضر در اراضی کشت و صنعت امام خمینی (ره) واقع در دشت شیبیه استان خوزستان در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر شوشتر در سطح ۶۳/۴ هکتار انجام گردید. در این راضی آب

1- Root Zoon Water Quality Model

2- Kroger et al.

3- Oriented Low-Grade Weirs

4- Biogeochemical

5- Free Conventional Drainage

6- Riser

7-Free Drainage

بنابراین آزمون تی استیودنت<sup>۵</sup> برای تعیین تفاوت معنی‌داری بین میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده از هر تیمار به کار برده شد و تیمارها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شدند (بی نام، ۱۹۸۹؛ لالوند، ۱۹۹۳). وابستگی بین هر متغیر اندازه‌گیری شده در هر تیمار با همان متغیر اندازه‌گیری شده در تیمار دیگر با روش وابستگی خطی ساده (پیرسون<sup>۶</sup>) ارزیابی گردید. مقادیر روزانه غلظت‌های ازت نیتراتی با درون‌یابی خطی از مقادیر اندازه‌گیری شده به دست آمد. آبشویی روزانه نیترات با ضرب کردن مقادیر عمق آب زهکشی روزانه در مقادیر غلظت روزانه نیترات محاسبه گردید (وستروم و همکاران، ۲۰۰۳؛ وستروم و مسینگ، ۲۰۰۷).

## نتایج و بحث

### عمق سطح ایستابی

همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، با وجود نصب سازه‌های کنترل سطح ایستابی در خروجی زهکش‌های جانبی در اعماق ۷۰ و ۹۰ سانتیمتری زیر سطح خاک، دو عامل تلفات رطوبتی ناشی از تبخیر و تعرق و نشست افقی و عمقی مانع نگهداشت سطح ایستابی در تراز مورد نظر در تیمارهای CD70 و CD90 گردید، که با نظر مجیا و همکاران<sup>۷</sup> مطابقت دارد. مدیریت سطح ایستابی باعث گردید دامنه نوسانات سطح ایستابی در تیمارهای زهکشی کنترل شده نسبت به تیمار زهکشی (۲۰۰۰) آزاد کاهش یافته و نیز در موقعیت بالاتری نسبت به تیمار زهکشی آزاد در طول دوره مطالعه قرار گیرد (شکل ۲). متوسط عمق سطح ایستابی در تیمارهای کنترل شده به صورت معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۹ درصد) در مقایسه با تیمار زهکشی آزاد کاهش یافت، که به ترتیب در تیمارهای FD، CD90 و CD70 برابر ۱۰۶/۰۶، ۸۰/۷۵ و ۷۱/۱۷ سانتی‌متر بود. وابستگی مثبت معنی‌دار بین تیمارها نیز به صورت جفتی و در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد در جدول (۱) ارائه شده است.

متوسط عمق سطح ایستابی در یک دوره ۱۵ روزه در پی اعمال کاربرد اولین آبیاری بعد از احداث سازه‌های کنترل سطح ایستابی در شکل (۳) نشان داده شده است. از نیمه اول منحنی پیداست که تراز سطح ایستابی در تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده در حین آبیاری سریعاً بالا آمده، در حالی که در نیمه دوم منحنی، تراز سطح ایستابی در تیمار زهکشی آزاد به سرعت کاهش یافت، ولی در تیمارهای زهکشی کنترل شده مدت زمان طولانی‌تری نسبت به تیمار زهکشی آزاد در مکان بالاتر باقی ماند.

اضافی را خارج می‌نمود، اجرا گردید. دو لوله زهکش جانبی واقع در نزدیکی مرز هر مزرعه به عنوان زهکش حائل یا محافظ<sup>۱</sup> و هر یک از دو لوله زهکش میانی به عنوان یک تکرار جهت اندازه‌گیری دبی و برداشت نمونه زه‌آب در نظر گرفته شد. ارتفاع لوله عمودی در تیمارهای کنترل شده در طول انجام آزمایش به صورت ثابت نگه داشته شد. میزان آب آبیاری به کار برده شده برای هر تیمار در هر دور آبیاری تقریباً شبیه به یکدیگر اما با دوره‌های متفاوت، در طول دوره مطالعه اعمال گردید. همچنین برای هر سه تیمار مدیریت کشاورزی و کاربرد کود یکسان استفاده گردید.

### جمع‌آوری داده‌ها

جمع‌آوری داده‌ها بعد از انجام عملیات تعویض جای جوی و پشته<sup>۲</sup> و استقرار گیاه نیشکر در ۲۵ فروردین ۱۳۹۰ شروع و تا ۱۸ آبان ۱۳۹۰ به طول انجامید. مقادیر آب آبیاری به کار برده شده برای هر تیمار در طی هر آبیاری با استفاده از یک سطل مدرج و زمان‌سنج از طریق درپچه‌های هیدروفلوم هر فارو با انتخاب تصادفی ۵۰ درپچه از ۴۶۵ درپچه در طول مزرعه اندازه‌گیری گردید. عمق سطح ایستابی روزانه از سطح خاک با استفاده از دستگاه سوند الکتریکی<sup>۳</sup> در سه گروه از چاهک‌های مشاهده‌ای، واقع در یک چهارم ابتدایی، نصف و یک چهارم انتهایی از طول زهکش‌های جانبی، در هر تیمار قرائت گردید. جریان خروجی زهکشی روزانه از زهکش‌های جانبی مزارع با استفاده از یک سطل مدرج و زمان‌سنج اندازه‌گیری شد. نمونه‌گیری از آب زهکشی در طول رخدادهای جریان هر پنج تا شش روز یکبار در طول مدت تحقیق جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری ازت نیتراتی به آزمایشگاه کیفیت آب انتقال یافت.

### زراعت

قلمه‌های نی از نوع واریته CP48-103، پس از آماده‌سازی اراضی در حال آیش، در اوایل شهریور ۱۳۸۹ به صورت کشت سال اول<sup>۴</sup> و به شیوه دو ردیفه با فاصله ردیف‌های ۱/۸۵ متر در مزارع آزمایشی کاشته شدند. کود اوره (46% N) به میزان ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار طی چهار مرحله در طول فصل رشد نیشکر و مصادف با طول دوره تحقیق به طور محلول در آب آبیاری برای هر تیمار به کار برده شد. این میزان کود مصرفی مطابق با عرف معمول در کشت و صنعت امام خمینی (ره) بود.

### تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به اینکه آزمون‌های آماری مرسوم برای معنی‌داری، به دلیل نداشتن آرایش کاملاً تصادفی تیمارها، قابل اجرا نبود،

5- Student's t-test

6- Simple Linear Correlation Method (Pearson r)

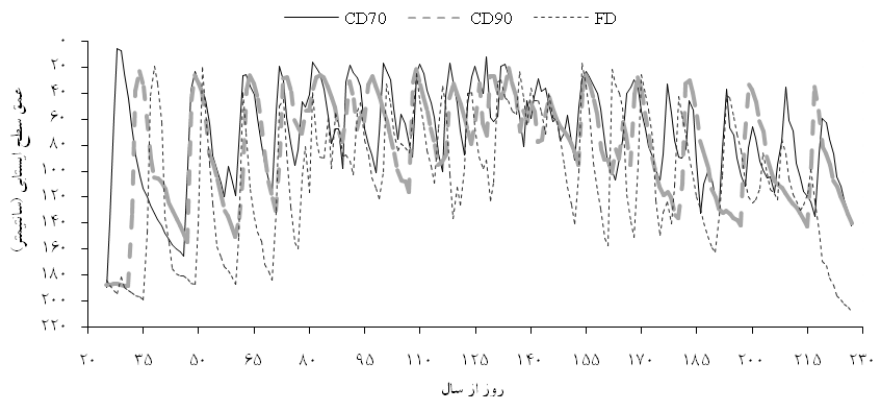
7- Mejia et al.

1- Buffer or gaurd

2- Healing up

3- Electrical Prob

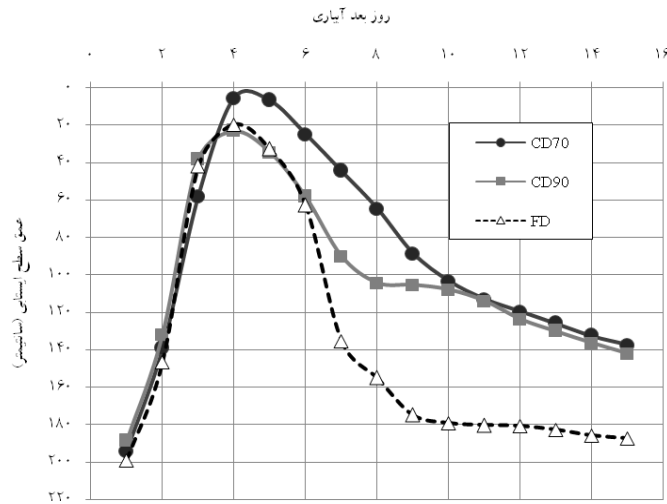
4- Plant



شکل ۲- میانگین روزانه نوسانات سطح ایستایی مزارع کنترل شده و آزاد (فروردین تا آبان ۱۳۹۰)

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل آماری متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده

تفاوت معنی‌دار	وابستگی معنی‌دار	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین	تعداد	تیمار/متغیر
عمق سطح ایستایی (سانتی‌متر)							
CD90* CD70*	CD90** CD70**	۵۱/۰۸	۲۰۷/۸۰	۱۶/۸۷	۱۰۶/۰۶	۲۰۳	FD
FD* CD70**	FD** CD70**	۴۱/۴۵	۱۸۸/۵۳	۲۰/۸۰	۸۰/۷۵	۲۰۳	CD90
FD** CD90*	FD** CD90**	۳۶/۸۶	۱۶۵/۰۰	۵/۳۳	۷۱/۱۷	۲۰۳	CD70
عمق زه آب خروجی روزانه (میلی‌متر)							
	CD90** CD70**	۴/۴۲	۲۲/۰۳	۰/۲	۸/۱۶	۲۱۰	FD
	FD** CD70**	۲/۲۹	۱۲/۶۲	۰/۶۹	۴/۱۶	۲۱۰	CD90
	FD** CD90**	۱/۸۴	۱۰/۸۱	۰/۰۸	۳/۰۶	۲۱۰	CD70
ازت نیتراتی زه آب خروجی (میلی‌گرم بر لیتر)							
ns	CD90** CD70**	۵/۴۵	۳۴/۱۰	۴/۰۳	۱۰/۸۰	۳۵	FD
ns	FD** CD70**	۴/۸۴	۲۶/۸۲	۴/۹۶	۱۰/۵۸	۳۸	CD90
ns	FD** CD90**	۴/۵۴	۲۳/۵۶	۵/۴۲	۱۰/۷۴	۳۸	CD70
ازت نیتراتی زه آب خروجی (کیلوگرم بر هکتار)							
	CD90** CD70**	۰/۶۲	۳/۲۲	۰/۰۱	۰/۸۵	۲۱۰	FD
	FD** CD70**	۰/۳۲	۲/۰۸	۰/۰۴	۰/۴۵	۲۱۰	CD90
	FD** CD90**	۰/۲۸	۱/۷۴	۰/۰۱	۰/۳۶	۲۱۰	CD70
ns: عدم تفاوت یا وابستگی معنی‌دار      **: تفاوت یا وابستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد      *: تفاوت یا وابستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد							



شکل ۳- میانگین عمق سطح ایستابی تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده در پی اعمال اولین آبیاری

جدول ۲- استمرار عمق سطح ایستابی در پی اعمال اولین آبیاری در اعماق مختلف

تعداد روزها			عمق سطح ایستابی (سانتی متر)
FD	CD90	CD70	
۴	۴	۶	<۷۰
۰	۱	۱	۷۰-۹۰
۲	۹	۷	۹۰-۱۵۰
۹	۱	۱	>۱۵۰

FD در طی دوره مطالعه کاهش یافت. همچنین تیمار CD70 کل عمق جریان خروجی زهکش را به میزان ۲۶/۴۶ درصد (از ۸۷/۳۹ به ۶۴/۲۷ سانتی متر) نسبت به تیمار CD90 کاهش داد (شکل ۴). بخشی از کاهش در میزان جریان خروجی زهکش را می توان به افزایش ظرفیت ذخیره آب خاک و نشت افقی و عمقی ناشی از افزایش تراز سطح ایستابی و بخشی دیگر را می توان به اثر عوامل آب و هوایی نظیر تبخیر نسبت داد (وستروم و همکاران، ۲۰۰۳؛ وستروم و مسینگ، ۲۰۰۷). وابستگی مثبت معنی دار نیز بین زه آب خروجی روزانه تیمارهای FD و CD70 در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در تیمارهای FD و CD90 در سطح اطمینان ۹۵ درصد می توان در جدول (۱) مشاهده نمود. حداکثر میزان زهکشی برای تیمارهای FD و CD90 در مرداد ماه به ترتیب به میزان ۳۷/۰۲ و ۱۶/۷۱ سانتی متر و برای تیمار CD70 در تیر ماه به میزان ۱۲/۴۷ سانتی متر رخ داد (شکل ۴).

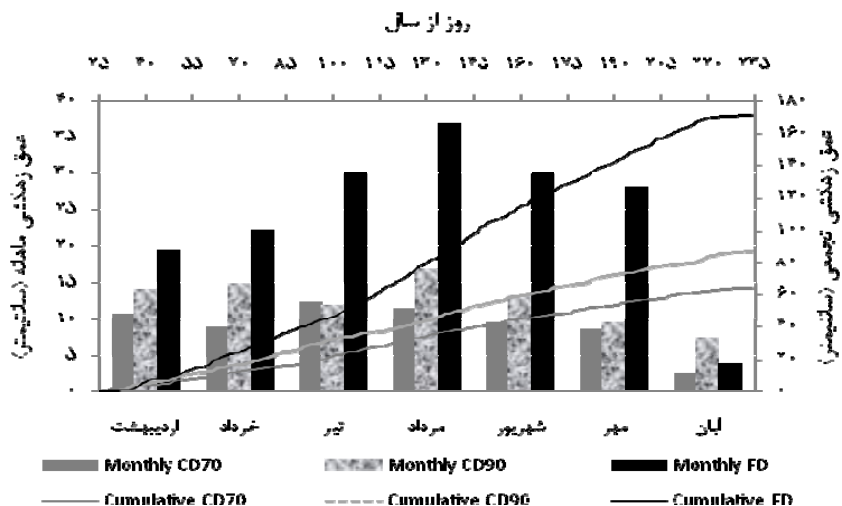
#### ازت نیتراتی در جریان خروجی از زهکش های زیرزمینی

غلظت ازت نیتراتی در جریان خروجی زهکش تحت تأثیر درصد رطوبت خاک، دمای خاک و نیز مقدار ازت معدنی در خاک می باشد، بنابراین نوسانات در تراز آب زیرزمینی (شکل ۲) موجب

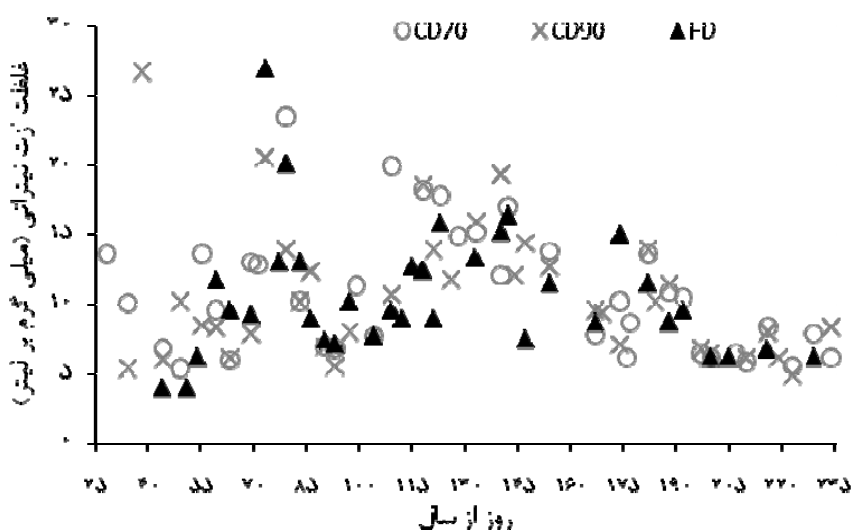
تعداد روزهایی که عمق سطح ایستابی در پی اعمال اولین آبیاری کوچک تر یا بزرگ تر از عمق ۷۰ سانتی متر بود، در جدول (۲) ارائه شده است. همان گونه که در این جدول مشاهده می شود، تیمارهای زهکشی کنترل شده سهم بیشتری به لحاظ زمانی برای حفظ سطح ایستابی بالای عمق ۱/۵ متر را داشته که منجر به استفاده بهینه گیاه نیشکر از آب زیرزمینی در ماه های اوج مصرف گردید. این نتایج با تحقیقات انجام شده در این زمینه توسط هارن بالک و همکاران (۲۰۰۵) تطابق خوبی داشتند.

#### جریان خروجی زهکشی

کنترل جریان خروجی از زهکش ها موجب تفاوت معنی دار (در سطح اطمینان ۹۹ درصد) بین میانگین عمق زه آب خروجی روزانه در تیمارهای زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد گردید (جدول ۱). کل عمق زه آب خروجی در تیمارهای CD70 و CD90 به ترتیب به میزان ۶۲/۴۸ (از ۱۷۱/۲۹ به ۶۴/۲۷ سانتی متر) و ۴۸/۹۸ درصد (از ۱۷۱/۲۹ به ۸۷/۳۹ سانتی متر) در مقایسه با تیمار



شکل ۴- عمق جریان خروجی زهکشی تجمعی و ماهانه تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده

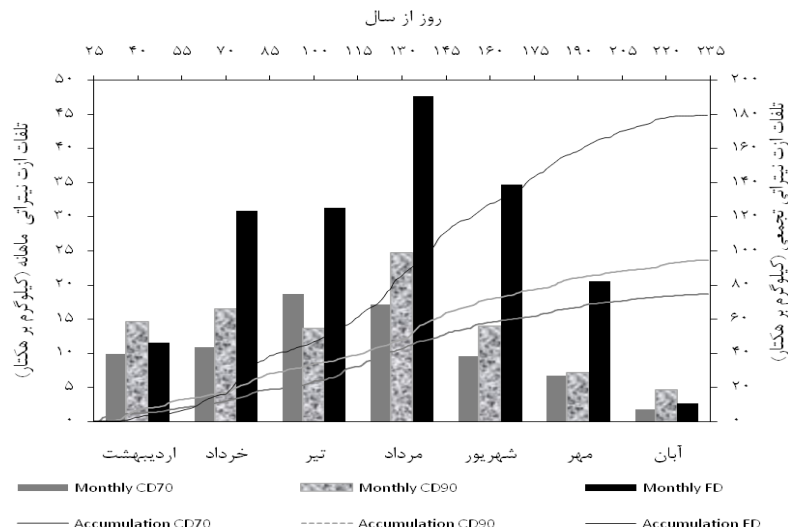


شکل ۵- غلظت ازت نیتروژنی در جریان خروجی زهکشی تیمارهای مختلف

است (۹، ۱۲، ۲۰). از علل دیگر پراکندگی غلظت نیترات در زه آب خروجی، تخصیص کود اوره مورد نیاز برای هر تیمار طی چهار نوبت در طول فصل رشد نیشکر و نیز تفاوت در زمان هر نوبت کوددهی بین تیمارهای مختلف بود. آنالیز غلظت‌های نیترات در جریان خروجی زهکش وابستگی مثبت معنی‌داری را بین سیستم‌های زهکشی نشان داد اما تفاوت معنی‌دار بین میانگین غلظت ازت نیتروژنی زه آب خروجی در تیمارهای مختلف یافت نشد (جدول ۱). عدم تفاوت معنی‌دار بین میزان میانگین غلظت نیترات در زه آب خروجی تیمارهای زهکشی کنترل شده و نیز اختلاف بسیار کم بین میزان میانگین آن‌ها با تیمار زهکشی آزاد احتمالاً

ایجاد نوسانات در غلظت نیترات در جریان خروجی از زهکش‌ها گردید (شکل ۵) (وستروم و مسینگ، ۲۰۰۷). همچنین کاهش عمق سطح ایستابی باعث ایجاد شرایط بی‌هوایی شده که دینتریفیکاسیون را افزایش و در نتیجه غلظت نیترات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (گامبرل و همکاران، ۱۹۷۵؛ گیلیام و استگز، ۱۹۸۶). به طوری که در مطالعات گیلیام و همکاران، کلیور<sup>۱</sup> و گیلیام و تن و همکاران دینتریفیکاسیون به عنوان یک عامل در کاهش غلظت نیترات زه آب خروجی از زهکش‌های کنترل شده شناسایی شده

1-Keliever



شکل ۶- تلفات ازت نیترا طی ماهانه و تجمعی تیمارهای زهکشی آزاد و کنترل شده در طول دوره مطالعه

جدول ۳- مقادیر عمق آب آبیاری و تعداد آبیاری در هر تیمار

تیمار	کل عمق آب آبیاری (سانتی‌متر)	تعداد آبیاری
FD	۳۳۲/۰۶	۲۲
CD90	۲۴۰/۱۹	۱۵
CD70	۲۴۶/۹۱	۱۸

همکاران<sup>۱</sup> در مطالعات خود بر روی تأثیر زهکشی کنترل شده در تلفات نیترا در مناطق نیمه خشک دلتای غربی مصر<sup>۲</sup>، کاهش در تلفات نیترا توسط تیمار کنترل شده را در وهله اول به کاهش معنی‌دار در کل جریان زه‌آب خروجی از زهکش‌ها و در وهله دوم به تأثیر زهکشی کنترل شده در افزایش دنیتریفیکاسیون مربوط دانستند: در مطالعات دیگر کاهش در تلفات نیترا به کاهش جریان خروجی زهکشی، اثر رقیق‌شدگی<sup>۳</sup> ناشی از مدیریت سطح ایستابی و افزایش دنیتریفیکاسیون در نواحی با سطح ایستابی کنترل شده نسبت داده شده است (مجیو مادرلوتو، ۱۹۹۸).

#### اثر زهکشی کنترل شده بر میزان کاربرد آب آبیاری

با اجرای زهکشی کنترل شده میزان کل آب مصرفی در مزارع کنترل شده CD70 و CD90 به ترتیب به میزان ۲۵/۶۴ و ۲۷/۶۷ درصد نسبت به مزرعه با زهکشی آزاد کاهش یافت (جدول ۳). علت کاهش میزان مصرف آب آبیاری در تیمارهای کنترل شده را می‌توان افزایش ضخامت ناحیه اشباع خاک، افزایش صعود موینگی و رطوبت خاک در ناحیه ریشه ذکر نمود. عمق آب

به دلیل آبیاری بیش از اندازه در تیمار زهکشی آزاد و رقیق شدن زه‌آب خروجی از این تیمار بوده است. میانگین تلفات نیترا زه‌آب خروجی در تیمارهای CD70 و CD90 به طور معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد نسبت به تیمار زهکشی آزاد کاهش یافت (جدول ۱) به نحوی که کل تلفات نیترا در جریان خروجی زهکش در تیمارهای CD70 و CD90 به ترتیب به میزان ۵۸/۴۳ (از ۱۷۹/۳۵ به ۷۴/۵۶ کیلوگرم بر هکتار) و ۴۷/۲۵ درصد (از ۱۷۹/۳۵ به ۹۴/۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در مقایسه با تیمار FD کمتر بود، همچنین تیمار CD70 کل تلفات نیترا را در جریان خروجی زهکش به میزان ۲۱/۱۸ درصد (از ۹۴/۶۰ به ۷۴/۵۶ کیلوگرم بر هکتار) نسبت به تیمار CD90 کاهش داد (شکل ۶). از شکل (۶) پیداست که تلفات نیترا ماهانه در تمامی تیمارها متناسب با جریان خروجی زهکشی ماهیانه بوده (شکل ۴) و بالاترین تلفات نیترا ماهانه همزمان با شدت جریان‌های خروجی حداکثر از زهکش‌های زیرزمینی رخ داد. در تحقیق حاضر کاهش در تلفات نیترا توسط تیمارهای CD70 و CD90 را می‌توان در درجه اول به کاهش معنی‌دار در کل جریان زه‌آب خروجی از زهکش‌ها و در درجه دوم به اثر زهکشی کنترل شده بر افزایش دنیتریفیکاسیون مرتبط دانست. همین‌طور، وهبا و

1-Wahba et al.

2-Western Delta of Egypt

3-Dilution



بر اینکه پتانسیل کاهش خروج زه‌آب را دارا بوده، قادر است تأثیر منفی زیست محیطی ایجاد شده با زهکشی زیرزمینی را کاهش دهد. کاربرد سیستم‌های زهکشی کنترل شده در مقیاس بزرگ در مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌تواند منجر به کاهش حجم زه‌آب در زهکش‌های سطحی اصلی و به دنبال آن کاهش قیمت کل پمپاژ یا انتقال زه‌آب به دریاها و تالاب‌ها گردد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از سازمان آب و برق خوزستان به عنوان حمایت کننده مالی اصلی این طرح، مدیران، کارشناسان و کارکنان شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) به خاطر تدارک مکان آزمایشی و همکاری‌شان و قطب علمی مدیریت بهره برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر حمایت مالی‌شان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

آبیاری در تیمار CD70، ۲/۸۰ درصد افزایش نسبت به تیمار CD90 از خود نشان داد، که علت آن به وجود مزرعه در حال آیش در کنار این مزرعه نسبت داده شد. این نتایج نشانگر آن است که زهکشی کنترل شده قادر است علاوه بر کاهش تلفات مواد مغذی نظیر نیترات از طریق زهکش‌های زیرزمینی، در کاهش میزان مصرف آب آبیاری نیز به طور چشم‌گیری تأثیرگذار باشد.

### نتیجه‌گیری

رفتار سطح ایستابی و در پی آن جریان خروجی زهکشی به صورت معنی‌دار تحت تأثیر سیستم زهکشی کنترل شده تغییر یافت. تیمارهای CD70 و CD90، کل جریان خروجی زهکشی را به ترتیب به میزان ۶۲/۴۸ و ۴۸/۹۸ درصد در مقایسه با تیمار زهکشی آزاد تقلیل دادند. کاهش در تلفات ازت نیتراتی در تمامی تیمارها متناظر با شدت جریان‌های خروجی زهکشی بود، بر اساس نتایج این مطالعه، زهکشی کنترل شده تلفات ازت نیتراتی را در زه‌آب خروجی تیمارهای CD70 و CD90 به ترتیب به میزان حدود ۱۰۴/۷۹ و ۸۴/۷۵ کیلوگرم بر هکتار نسبت به تیمار زهکشی آزاد در طول دوره تحقیق کاهش داد. بنابراین این سیستم علاوه

### منابع

- 1- Anonymous. 1989. Statistical methods for food quality management. Agriculture Canada Publication 5268, Ministry of Supply and Services Canada, Ottawa, Ont., Canada, 99 Pp.
- 2- Anonymous. 1992. World development 1992. Development and the Environment. The World Bank: Washington.
- 3- Bonaiti, G. and M.d Borin. 2010: Efficiency of controlled drainage and subirrigation in reducing nitrogen losses from agricultural fields." Agricultural Water Management, 98(2): 343-352.
- 4- Drury, C. F., Tan, C. S., Gaynor, J. D., Oloya, T. O. and T. W. Welacky, 1996. Influence of controlled drainage-subirrigation on surface and tile drainage nitrate loss. Journal of Environmental Quality, 25: 317-324.
- 5- Evans, R. O., Skaggs, R. W. and J. W. Gilliam, 1990. Management practice effects on water quality. Proceeding of the 1990 National Conference IR Div/ASCE/Durango, Colo., CO/11-13 July.
- 6- Evans, R. O., Skaggs, R. W. and J. W. Gilliam, 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 121(4) 271-276.
- 7- Fang, Q. X., Malone, R. W., Ma, L., Jaynes, D. B., Thorp, K. R., Green, T. R. and L. R. Ahuja. 2012. Modeling the effects of controlled drainage, N rate and weather on nitrate loss to subsurface drainage. Agricultural Water Management, 103: 150-161.
- 8- Gambrell, R. P. Gilliam, J. W. Weed. 1975. Denitrification in subsoils of North Carolina Coastal Plain as affected by soil drainage. J. Environ. Qual, 4: 311-316.
- 9- Gilliam, J. W. and R. W. Skaggs. 1986. Controlled agricultural drainage to maintain water quality. Journal of Irrigation Drainage Engineering, 112(2): 254-263.
- 10- Gilliam, J. W., Skaggs, R. W. and S. B. Weed. 1979. Drainage control to diminish nitrate loss from agricultural fields. Journal of Environmental Quality, 8: 137-142.

- 11- Hornbuckle, J. W., Christen, E. W., Ayars, J. E. and R. D. Faulkner. 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.
- 12- Kroger, R., Pierce, S. C., Littlejohn, K. A., Moore, M. T. and J. L. Farris. 2012. Decreasing nitrate-N loads to coastal ecosystems with innovative drainage management strategies in agricultural landscapes: An experimental approach. *Agricultural Water Management*, 103: 162-166.
- 13- Lalonde, V. 1993. Some Hydrologic and Environmental Benefits of Water Table Management. M.Sc. Thesis, Department of Agricultural Engineering, Macdonald Campus of McGill University, Sainte Anne-de-Bellevue, Que., Canada.
- 14- Liu, H. L., Yang, J. Y., Tan, C. S., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Zhang, T. Q., Bai, Y. L., Jin, J., He, P. and 6. Hoogenboom. 2011. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. *Agricultural Water Management*, 98(6): 1105-1111.
- 15- Luo, W., Sands, G. R., Youssef, M., Strock, J. S., Song, I. and D. Canelon. 2010. Modeling the impact of alternative drainage practices in the northern Corn-belt with DRAINMOD-NII. *Agricultural Water Management*, 97(3): 389-398.
- 16- Mejia, M. N., Madramootoo, C. A. and R. S. Broughton. 2000. Influence of water table management on corn and soybean yields. *Agricultural Water Management*, 46(1): 73-89.
- 17- Mejia, M. N. and C. A. Madramootoo. 1998. Improved water quality through water table management in eastern Canada. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 124(2): 116-122.
- 18- Tan, C. S., Drury, C. F., Gaynor, J. D. and T. W. Walacky. 1993. Integrated soil, crop and water management system to abate herbicide and nitrate contamination of the Great Lakes. *Water Science Technology*, 28: 497-507.
- 19- Wahba, M. A. S., El-Ganainy, M., Abdel-Dayem, M. S., Gobran, A. and H. Kandil. 2001. Controlled drainage effects on water quality under semi-arid conditions in the Western Delta of Egypt. *Irrigation and Drainage*, 50(4): 295-308.
- 20- Wesstrom, I., Ekbohm, G., Linner, H. and I. Messing. 2003. The effects of controlled drainage on subsurface outflow from level agricultural fields.
- 21- Wesstrom, I. and I. Messing. 2007. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. *Agricultural Water Management*, 87(3): 229-240.