مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱٤/ شماره ٤/سال ۱۳۹۲/ص ۷۲-۵۷

ویژگی‌های هیدرولیکی کپسول‌های سفالی سامانه آبیاری زیرسطحی در سه بافت خاک

قاسم زارعی* و سیدعلی شهپری**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، بلوار شهید فهمیده، روبروی بانک کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، تلفن: ۳۲۷۰۸۳۵۹(۰۲۶)، پیام‌نگار: ghzarei4554@yahoo.com

** استادیاران موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

با توجه به ابعاد جهانی کم‌آبی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، کمیتهٔ بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) در هشتمین کنگرهٔ بین‌المللی آبیاری میکرو سال ۲۰۱۱ در ایران، توسعهٔ روش‌های آبیاری میکرو زیرسطحی را به‌عنوان جهت‌گیری جهانی، توصیه کرده است. در سال‌های اخیر به‌دلیل وجود خشکی و بروز خشکسالی‌های متعدد در کشور، روش آبیاری زیرسطحی سفالی مورد توجه کشاورزان، کارشناسان و محققان قرار گرفته است. اگرچه این روش آبیاری، سنتی است و نسبت به سایر روش‌های آبیاری زیرسطحی مزایا و معایب خاص خود را دارد، اما به‌نظر می‌رسد بتوان با تغییرات و تمهیداتی در مکانیزم این روش آبیاری، کاربردهای مناسبی برای آن در کشور توصیه کرد. در سیستم آبیاری زیرسطحی سفالی، چگونگی عملکرد هیدرولیکی کپسول‌های سفالی یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده کارآیی سیستم است. در این پژوهش، دو رابطه یکی آبدهی-زمان و دیگری آبدهی- فشار کپسول‌های سفالی ارائه شده‌اند که در سیستم آبیاری زیرسطحی استفاده می‌شوند. این آزمایش‌ها در سه نوع بافت متفاوت خاک لوم شنی، لوم رسی سیلتی و رسی سیلتی و در شرایط صحرایی اجرا شده است. سیستم آزمایشی در قالب طرح اسپلیت پلات با بلوک‌های کاملا تصادفی طراحی و اجرا شد. کرت اصلی شامل سه بافت خاک و کرت فرعی شامل سه فشار کارکرد حاصل از ارتفاع‌های متفاوت آب سفال با سه تکرار در نظر گرفته شد. نتایج اندازه‌گیری طی سه ماه و با سه فشار حاصل از دو، سه و چهار متر ارتفاع آب نشان می‌دهد که آبدهی روزانه سفال به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بافت خاک قرار می‌گیرد. همچنین، فشار کارکرد سفال تأثیر معنی‌داری در آبدهی سفال در هر سه خاک دارد. نتایج اندازه‌گیری رابطهٔ آبدهی- فشار کپسول‌های سفالی با هفت فشار کارکرد ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ٤ و ٤/۵ متر حاصل از ارتفاع آب در هر سه نوع خاک طی مدت دو هفته نشان می‌دهد که بین این دو عامل طراحی سیستم آبیاری، رابطهٔ غیرخطی (توانی) برقرار است و بهترین فشار کارکرد کپسول سفالی برای هر سه خاک فشاری است که از ارتفاع ، ٤- ۳/۵ متر آب به دست می‌آید.

واژه‌های کلیدی

آبدهی، آبیاری زیرسطحی سفالی، فشار کارکرد، کارکرد هیدرولیکی

مقدمه

افزایش جمعیت، محدودیت منابع آب، افزایش تقاضای آب و انتقال آن برای مصرف در بخش‌هایی غیر از کشاورزی، مشکلات جدی برای کشت‌های آبی در ایران به‌وجود آورده است. برای سالیان متمادی تأکید بر کشاورزی پایدار، حفاظت از منابع آب و خاک و رعایت مسایل زیست‌محیطی، محور فعالیت‌های بخش کشاورزی بود، ولی با ورود به قرن ۲۱، علاوه بر اهداف فوق، بهره‌وری

بیش‌تر از آب نیز مطرح است. از جمله راهکارهای سازگاری با خشکی، استفاده بهینه از منابع آب است. امروزه بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب در جهان است. به همین علت باید بیش‌ترین استفاده مفید از آب در این بخش صورت گیرد و بهره‌وری مصرف آب بالا رود. آبیاری تحت فشار از روش‌هایی است که موجب افزایش راندمان آبیاری، توزیع یکنواخت‌تر آب در محدودهٔ ریشهٔ گیاهان، افزایش عملکرد گیاهان و در نتیجه افزایش بهره‌وری در مصرف آب می‌شود. روش‌های آبیاری میکرو زیرمجموعه روش‌های آبیاری تحت فشار هستند با مزایای مضاعف. روش‌های آبیاری میکرو زیرسطحی از فناوری‌هایی با مزایای متعدد و منحصر به‌فرد از نظر مسایل زراعی، حفظ منابع آب و خاک هستند؛ این روش‌ها اقتصادی بوده و راه‌حل مناسبی برای سازگاری با کمبود آب به‌شمار می‌آیند. از مزایای آبیاری میکرو زیرسطحی می‌توان به کاهش مصرف آب، افزایش رشد، بالا رفتن عملکرد و کیفیت محصول، افزایش بهره‌وری آب، کاهش خطر شوری برای گیاهان، تعدیل کاربرد کود و مواد شیمیایی، کنترل رشد علف‌های هرز، کاهش در مصرف انرژی، تسهیل در عملیات کشاورزی، حفظ ساختمان خاک و حفاظت بیشتر از محیط‌زیست اشاره کرد.

اخیراً، روش آبیاری زیرسطحی سفالی به‌دلیل وجود خشکی و بروز خشکسالی‌های متعدد، چه در داخل کشور (Kazemi *et al.*, 2003; Majidi *et al.*, 2009; Ghorbani-Vaghei *et al.*, 2010; Bahrami *et al.*, 2011; Ghorbani-Vaghei *et al.*, 2011) و چه در خارج کشور (Batchelor *et al.*, 1996; Hussain *et al.*, 1997; Bainbridge, 2001; Ashrafi *et al.*, 2002) مورد توجه قرار گرفته است.

خاستگاه این روش آبیاری، ایران باستان است که بعدها به سایر کشورهای آسیایی و افریقایی گسترش یافته است (Bainbridge, 2001; Abu-Zreig *et al.*, 2009). این روش آبیاری، سنتی است اما به‌نظر می‌رسد می‌توان با تمهیداتی در مکانیزم و ایجاد تغییراتی در آن، کاربردهایی مناسب برای آن پیدا کرد. در آبیاری زیرسطحی سفالی، سفال‌ها نقش گسیلنده را دارند. به‌همین دلیل، ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی و چگونگی عملکرد آنها، از عوامل اصلی و تعیین‌کننده کارایی آبیاری زیرسطحی سفالی است.

بهنیا و عرب‌فرد (Behnia & Arab-Fard, 2005) به بررسی آزمایشگاهی اثر فشار آب و حجم کوزه بر میزان تراوش آب از کوزه پرداختند. این آزمایش با چهار فشار کارکرد و سه حجم کوزه اجرا شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد در هر فشار، بین حجم و آبدهی کوزه رابطهٔ خطی وجود دارد، به‌طوری‌که در یک فشار ثابت، هر چه حجم کوزه زیادتر باشد، تراوش آب از کوزه نیز بیشتر است. از این رو در مناطقی که امکان افزایش فشار آب در سیستم آبیاری کوزه‌ای وجود ندارد، می‌توان از کوزه‌های بزرگ‌تر استفاده کرد تا آبدهی افزایش یابد. در کوزه‌های با حجم یکسان، بین فشار آب و آبدهی کوزه رابطه‌ای خطی وجود دارد. بدین‌ترتیب در مواردی که امکان استفاده از کوزهٔ بزرگ‌تر وجود ندارد، می‌توان با افزایش فشار آب، آبدهی را افزایش داد.

برای تعیین معیارهای طراحی آبیاری کوزه‌ای، استین (Stien, 1998) ویژگی‌های هیدرولیکی کوزه را در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای به کمک مدل ریاضی شبیه‌سازی کرد. به نظر این محقق، آبدهی کوزه به سه عامل: هدایت هیدرولیکی مواد سازندهٔ کوزه، سطح مقطع خارجی کوزه و ضخامت دیوارهٔ کوزه بستگی دارد. همچنین گزارش شده است که کوزه می‌تواند تراوایی خود را بر اساس پتانسیل تبخیر هوا یا نیاز آبی گیاه، تا ۲۰۰ درصد تنظیم کند. استین (Stien, 1998) به این نتیجه رسید که این مطالعه باید با آزمایش‌های صحرایی جداگانه‌ای ادامه یابد.

اشرفی و همکاران (Ashrafi *et al.*, 2002) ویژگی‌های هیدرولیکی سفال لوله‌ای را در دو نوع خاک شبیه‌سازی و با داده‌های واقعی مقایسه کردند. شاخص‌های بررسی شده عبارتند از: اثر فشار بر تراوش آب از سفال، اثر فشار کارکرد روی توزیع رطوبت، اثر شدت تبخیر روی توزیع رطوبت، اثر حجم آب تراوش یافته در توزیع رطوبت و اثر فشار کارکرد در توزیع رطوبت. نتایج مقایسه نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند هیدرولیک جریان آبیاری زیرسطحی سفالی را با دقت پیش‌بینی کند.

با بررسی آزمایشگاهی ویژگی‌های هیدرولیکی و تراوش آب از انواع کوزه‌های ساخته شده در اردن، ابوزریج و آتم (Abu-Zreig & Atoum, 2004) گزارش داده‌اند که هدایت هیدرولیکی مهم‌ترین ویژگی است که باید برای کوزه‌ها تعیین شود. این محققان مدلی برای پیش‌بینی شدت آبدهی کوزه‌ها با توجه به حجم، شکل هندسی و درجهٔ پخت آن‌ها ارائه داده‌اند. ابوزریج و همکاران (Abu-Zreig *et al.*, 2006) در مطالعات آزمایشگاهی، قابلیت خودتنظیمی تراوش از سفال را در برابر قدرت تبخیرکنندگی محیط تعیین کردند. در این پژوهش همبستگی معنی‌داری (R^2=0.97) بین شدت تراوش از کوزه و قدرت تبخیرکنندگی محیط به دست آمد. ابوزریج و همکاران (Abu-Zreig *et al.*, 2009) عوامل موثر بر تراوش آب از کوزه را با مطالعه صحرایی در مناطق خشک بررسی کردند. این عوامل شامل: مواد تشکیل‌دهندهٔ کوزه، پتانسیل تبخیر هوا، قرار گرفتن کوزه در فضای باز یا درون خاک و فشار کارکرد ثابت یا متغیر کوزه است. در این بررسی، نتایج شبیه‌سازی کوزهٔ کارگذاری شده در خاک، با اندازه‌گیری واقعی، مقایسه شد و نشان داد که تراوش آب از کوزه‌های کارگذاری شده در خاک بیشتر است تا از کوزه‌های قرار داده شده روی خاک. شدت تراوش آب از کوزه‌های کارگذاری شده در خاک در شرایط فشار ثابت بیشتر است تا در فشار متغیر. شدت تراوش آب از کوزه با آبگذری کوزه و پتانسیل تبخیر محیط به‌طور مستقیم متناسب است. همچنین، بین شدت تراوش و تبخیر پتانسیل رابطه‌ای خطی وجود دارد که نشانگر قابلیت خودتنظیمی تراوش آب از کوزه است. تراوش کوزه همبستگی مستقیمی با پتانسیل ماتریک خاک اطراف کوزه دارد که نشان‌دهندهٔ اثر رطوبت خاک روی تراوش آب از کوزه است.

وسادوان و همکاران (Vasudevan *et al.*, 2007) اثر دما و رطوبت ماهانه هوا را بر تراوش آب از کوزه با کشت نوعی گیاه محلی[1] بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دما یا کاهش رطوبت هوا در ماه‌های مختلف، آبدهی کوزه افزایش می‌یابد که نشانگر اثر مکش خاک روی تراوش آب از کوزه است. این محققان توصیه می‌کنند که قبل از کاربرد کوزه برای آبیاری، کلیه خصوصیات آن، از قبیل میزان تراوش آب و ضریب آبگذری، تعیین شود. آجیت و همکاران (Ajit *et al.*, 2007) با مطالعهٔ آزمایشگاهی ویژگی‌های هیدرولیکی چند نوع کوزه، هدایت هیدرولیکی اشباع و ظرفیت رسانایی[2] کوزه‌ها را با دو روش بار افتان و بار ثابت تعیین کردند.

نایک و همکاران (Naik *et al.*, 2008) با بررسی آزمایشگاهی توزیع شوری در نیم‌رخ خاک، با استفاده از آبیاری کوزه‌ای در شرایط استفاده از آب شور نشان داده‌اند که با افزایش شوری آب آبیاری، شدت تراوش آب و پیشروی جبهه رطوبتی خاک کاهش می‌یابد. هدایت الکتریکی آب به کار رفته در این پژوهش بین ۵ تا ۲۰ دسی زیمنس بر متر متغیر بود و سه نوع کوزه با مواد متفاوت در خاک کارگذاری و آزمایش شدند.

سیال و اسکاجز (Siyal & Skaggs, 2009) گزارش داده‌اند که آبیاری زیرسطحی با لوله‌های رسی در صورت تعیین دستورالعمل طراحی و کاربرد آن، روش مفیدی برای صرفه‌جویی آب در مناطق خشک است. در این

1- Chandani

2- Conductance

پژوهش، الگوی رطوبتی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شدهٔ ناشی از کاربرد تنبوشهٔ سفالی در خاک بررسی و همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده (R^2)، ۰/۹۸ ارائه شده است. با شبیه‌سازی اثر فشار کارکرد متفاوت، اثر بافت خاک مختلف، و عمق متفاوت کارگذاری سفال بر الگوی توزیع رطوبت، مشخص شد که افزایش فشار کارکرد باعث افزایش پیاز رطوبتی می‌شود. همچنین نشان داده شده است که عمق نصب سفال روی فاصلهٔ قرار گرفتن سفال‌ها از یکدیگر و تلفات تبخیر از سطح خاک اثر دارد و نیز برای آبدهی معین، تأثیر قدرت تبخیرکنندگی هوا روی پیاز رطوبتی ناچیز است. بافت خاک نیز به‌دلیل ویژگی‌های هیدرولیکی متفاوت، تأثیر زیادی روی الگوی پخش رطوبت دارد.

سیال و همکاران (Siyal *et al.*, 2009) پیشروی جبهه رطوبتی و توزیع رطوبت را در آبیاری کوزه‌ای شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش کوزه‌هایی با سه حجم در خاک کار گذاشته شدند. مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع کوزه‌ها بین ۰/۰۷ سانتی‌متر در روز برای کوزه‌های بزرگ تا ۰/۱۴ سانتی‌متر در روز برای کوزه‌های کوچک متغیر و همبستگی بین توزیع رطوبت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده (R^2)، ۰/۹۶ بود؛ خطای پیش‌بینی مدل (RMSE) ۰/۰۰۴-۰/۰۳۳ به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پیاز رطوبتی ایجاد شده در کوزهٔ کوچک با حجم نیم ولی هدایت هیدرولیکی دو برابر کوزهٔ بزرگ‌تر، یکسان است. همچنین، توزیع افقی رطوبت در خاک ریز بافت بیشتر از خاک درشت بافت است.

گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2009) اثر بافت خاک را بر ویژگی‌های تراوش آب از لوله‌های سفالی در آبیاری زیرسطحی مطالعه کردند. در این مطالعه، نتایج شبیه‌سازی تراوش آب از سفال با اندازه‌گیری‌های واقعی در دو بافت خاک مقایسه شده است. این محققان وجود رابطهٔ خطی بین آبدهی کپسول‌های سفالی و فشار کارکرد آن‌ها را در خارج از خاک و رابطه غیرخطی بین این دو پارامتر را در دو خاک ماسه‌ای ریز و لوم شنی، گزارش کردند.

صالح و ستیوان (Saleh & Setiawan, 2010) شدت تراوش آب از کوزه و توزیع رطوبت در اطراف آن را برای دو خاک شبیه‌سازی و با اندازه‌گیری‌های واقعی مقایسه کردند. در این پژوهش، حداکثر پیشروی جبههٔ رطوبتی برای هر دو خاک در جهت افقی و عمودی تعیین و مشخص شده که عمق کارگذاری کوزه و نوع خاک در شکل‌گیری پیاز رطوبتی مهم است. قربانی‌واقعی و همکاران (Ghorbani-Vaghei *et al.*, 2010; 2011) اثر نوع خاک، دما و مدت زمان پخت و فشار کارکرد را روی خواص فیزیکی و هیدرولیکی کپسول‌های سفالی کارگذاری شده در خاک، مطالعه و رابطه‌ای معنی‌دار (R^2=0.99) بین افزایش درصد شن ریز خاک مورد استفاده برای ساخت سفال و آبدهی سفال‌ها گزارش کردند؛ همچنین، گفته شده که افزایش دمای پخت، منجر به افزایش آبدهی کپسول‌های سفالی می‌شود. رابطهٔ آبدهی- فشار در کپسول سفالی ساخته شده با خاک لومی رسی خطی، ولی با افزایش درصد شن ریز در مخلوط مورد استفاده در ساخت کپسول، این رابطه غیرخطی گزارش شده است. بهرامی و همکاران (Bahrami *et al.*, 2011)، حرکت جبههٔ رطوبتی (شعاع و عمق خیس‌شدگی) حاصل از آبیاری با کپسول‌های رسی زیرسطحی را شبیه‌سازی و با داده‌های مزرعه‌ای حاصل از خاک رسی مقایسه کردند. آماره‌های استفاده شده برای تعیین دقت شبیه‌سازی ME، RMSE، EF و CRM بودند.

با عنایت به این‌که پژوهش‌ها تاکنون عمدتاً روی کوزه‌های دست‌ساز (ساخته شده با چرخ‌های سفالگری) با شکل‌ها و حجم‌های متفاوت بوده، هدف این پژوهش، تعیین و ارائه ویژگی‌های هیدرولیکی (روابط آبدهی- زمان و آبدهی- فشار) کپسول‌های سفالی ساخته شده به‌روش

تزریقی است که هم اکنون در سیستم آبیاری زیرسطحی سفالی استفاده می‌شوند. آزمایش‌های مربوط به این پژوهش، در سه بافت متفاوت خاک، فشارهای کارکرد متفاوت، در شرایط واقعی و در مقیاس بزرگ انجام شده است.

مواد و روش‌ها

سه گودال به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۱۲، ۱۰ و ۱/۵ و سه گودال دیگر به ابعاد ۱۲، ۳ و ۱/۵ متر (هر دو به‌ترتیب طول، عرض و عمق) در محوطهٔ مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (شهرستان کرج) حفر شد. سه نوع خاک با بافت متفاوت از اطراف شهرستان کرج تهیه و پس از شناسایی و تعیین بافت، به محل آزمایش‌ها انتقال داده شد. بافت خاک‌های تهیه شده، بر اساس استاندارد وزارت کشاورزی آمریکا، لومی شنی، لوم رسی سیلتی و رسی سیلتی تعیین شد. ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های به‌کار رفته برای آزمایش‌ها، به‌شرح جدول ۱ ارائه شده است. خاک‌های انتخاب و به‌کار برده شده در این پژوهش، بر اساس مثلث بافت خاک، به ترتیب سبک، متوسط و سنگین هستند.

گودال‌های بزرگ و گودال‌های کوچک حفر شده هر یک با یک بافت خاک پر شد: گودال‌های بزرگ برای تعیین رابطهٔ آبدهی- زمان کپسول‌های سفالی و گودال‌های کوچک برای تعیین رابطهٔ آبدهی- فشار آن‌ها. گودال‌ها با لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری خاک و با اضافه کردن رطوبت و استفاده از غلتک دستی برای متراکم کردن لایه‌ها پر شدند. بعد از پر شدن گودال‌ها، حاشیهٔ آن‌ها جدول‌گذاری و مرتب شد. سپس، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گودال‌ها در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری، که یکی از فاکتورهای مهم در حرکت آب در خاک است، به روش آزمایشگاهی بار ثابت تعیین شد. همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک‌های ریخته شده به گودال‌ها با استفاده از رینگ‌های نمونه‌برداری و خشکاندن خاک درون آن‌ها تعیین شد.

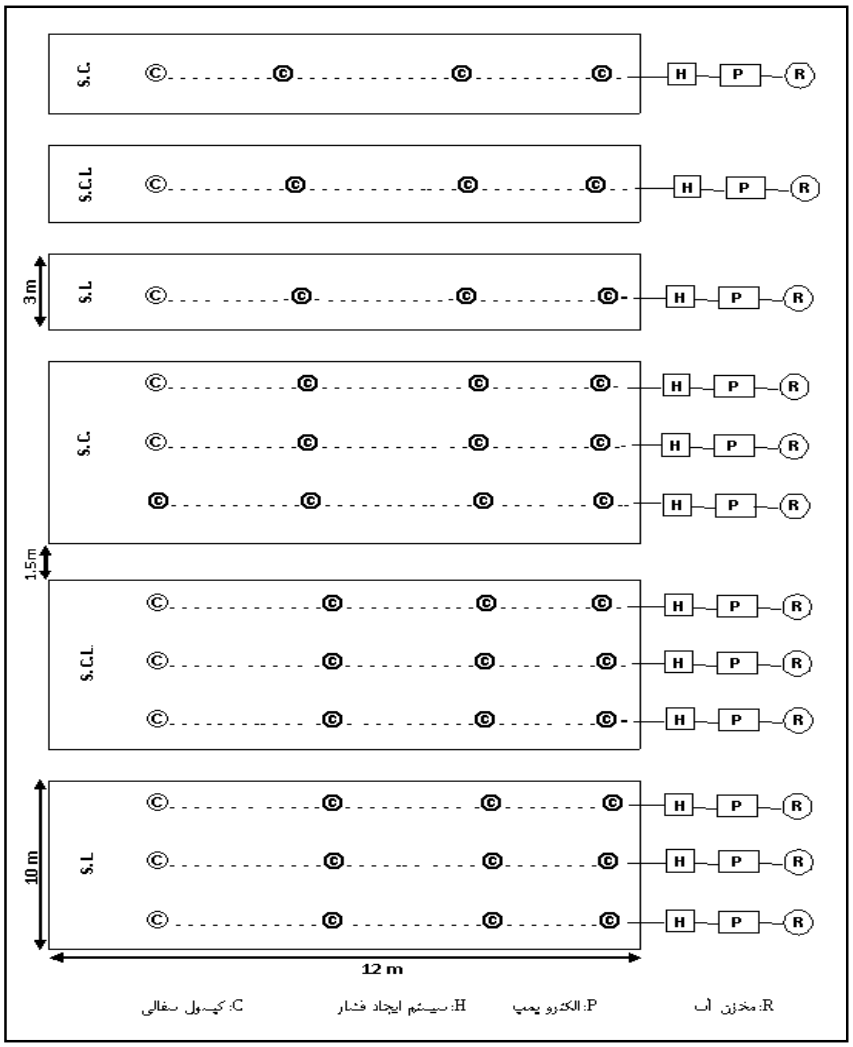
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی سه نمونه خاک مورد آزمایش

بافت خاک	رس	لای	ماسه	وزن مخصوص ظاهری	هدایت هیدرولیکی اشباع
		درصد		(گرم بر سانتی‌متر مکعب)	(سانتی‌متر بر ساعت)
لومی شنی	۷/۷۷	۳۲/۹۸	۵۹/۲۵	۱/۳۰	۰/۶۷
لوم رسی سیلتی	۳۶/۶۵	۴۵/۲۷	۱۸/۰۸	۱/۲۵	۰/۳۵
رسی سیلتی	۴۲/۳۴	۴۷/۱۱	۱۰/۵۵	۱/۳۹	۰/۰۶

با طراحی سیستم‌های هیدرولیکی متشکل از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری برای تأمین و تعیین حجم آب مصرفی، لوله‌های آب فلزی قائم پنج اینچی با خروجی‌هایی به فواصل نیم متر برای ایجاد فشار کارکرد ثابت قابل تنظیم و الکتروموتورهای کوچک برای برگشت آب مازاد به بشکه، امکان برقراری جریان آب به‌داخل کپسول‌های سفالی تحت فشارهای متفاوت ۴/۵ – ۱/۵ متر فراهم شد. با آماده شدن خاک به عنوان بستر آزمایش‌ها و سیستم‌های ایجاد فشار و اندازه‌گیری حجم آب مصرفی، در هر یک از لایستمرهای بزرگ چهار سفال به فاصلهٔ سه متر به‌صورت سری کار گذاشته و با استفاده از سه‌راهی پلی‌اتیلن و لوله‌های رابط پلی‌اتیلن ۱۶ میلی‌متری، به مخزن و سیستم ایجاد فشار متصل شدند. کپسول‌های سفالی به‌صورت قائم و در عمق پنج سانتی‌متری از سطح خاک، کار گذاشته شدند. نمائی از سیستم طراحی و پیاده شده و آرایش کپسول‌های سفالی در آن، به طور شماتیک

در شکل ۱ ارائه شده است. قطر خارجی و داخلی کپسول‌های سفالی استفاده شده در این پژوهش به ترتیب ۸ و ۶ سانتی‌متر و ارتفاع آنها ۴۵ سانتی‌متر با حجم ۱/۲۲ لیتر است. تخلخل و ضریب تغییرات ساخت کپسول‌های سفالی را قبلا مجیدی و همکاران (Majidi *et al.*, 2009) به ترتیب ۳۵/۱ و ۱۵/۸ درصد تعیین کرده‌اند.

با پر کردن بشکه‌ها از آب و شروع به کار الکتروپمپ‌ها، بعد از حدود ۲۴ ساعت، سیستم پمپاژ آب خاموش و جریان آب به داخل سفال‌ها قطع شد. آب مصرف‌شده در چهار قطعه سفال در هر بافت خاک، اندازه‌گیری شد. سپس، سیستم ایجاد فشار بار دیگر راه‌اندازی و شیر فلکه جریان به سمت کپسول‌های سفالی باز شد و آزمایش‌ها برای ۲۴ ساعت بعدی ادامه یافت. دورهٔ آزمایش‌های مربوط به آبدهی روزانه سفال‌ها، ۹۰ روز از تاریخ ۸۰/۵/۳۱ تا ۸۰/۸/۲۸ به طول انجامید. برای صرفه‌جویی در زمان و آزمون آبدهی سفال‌ها در فشارهای کارکرد متفاوت در شرایط یکسان، هم‌زمان در هر گودال بزرگ سه فشار کارکرد دو، سه و چهار متر راه‌اندازی و اندازه‌گیری‌ها انجام شد.



شکل ۱- نمایی از سیستم طراحی و پیاده شده و آرایش کپسول‌های سفالی در آن

برای تعیین رابطهٔ آبدهی- فشار حاکم بر کپسول‌های سفالی در هر یک از سه گودال کوچک، چهار سفال، مشابه با آزمایش‌های آبدهی- زمان، کارگذاری شد. برای این مرحله هفت فشار کارکرد معادل ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴ و ۴/۵ متر ستون آب در نظر گرفته شد. با راه‌اندازی سیستم (الکتروپمپ‌ها و باز کردن شیر فلکه‌های مرتبط)، بعد از کارکرد ۲۴ ساعته کپسول‌های سفالی تحت فشارهای ایجاد شده، سیستم خاموش و آب تراوش‌یافته از سفال‌ها اندازه‌گیری شد. سپس، فشار به اندازهٔ نیم متر افزایش می‌یافت و سیستم مجددا شروع به‌کار می‌کرد. این عملیات تا رسیدن به فشار کارکرد ۴/۵ متر تکرار و اندازه‌گیری‌های لازم صورت پذیرفت. مدت زمان این آزمایش برای روند افزایش فشار در هر خاک یک هفته، از تاریخ ۸۰/۷/۱ تا ۸۰/۷/۷، به طول انجامید. برای بررسی رفتار کپسول‌های سفالی در صورت روند کاهشی فشار کارکرد، این مرحله از آزمایش‌ها دوباره تکرار شد، ولی این بار آبدهی سفالی از فشار حداکثر ۴/۵ متر مرحله به مرحله (۰/۵ متر) کاهش یافت و آبدهی سفال‌ها به طریق مشابه به‌مدت یک هفته اندازه‌گیری شد (از تاریخ ۸۰/۷/۲۷ تا ۸۰/۸/۳).

سیستم آزمایشی در قالب طرح اسپلیت پلات با بلوک‌های کاملا تصادفی طراحی و اجرا شد. کرت اصلی شامل سه بافت خاک و کرت فرعی شامل سه فشار کارکرد سفال با سه تکرار در نظر گرفته شدند. به‌منظور ایجاد شرایط واقعی برای کارکرد سیستم آبیاری زیرسطحی سفالی، در تمام مراحل از آب چاه موجود برای آبیاری فضای سبز موسسه (با هدایت الکتریکی ۰/۹ دسی زیمنس بر متر و بدون فیلتراسیون) استفاده شد. در این پژوهش به منظور تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها)، روندیابی داده‌ها، تعیین و معرفی رابطه ریاضی مناسب بین آبدهی و فشار کارکرد سفال‌ها، رسم نمودارها و تفسیر نتایج، از نرم‌افزارهای Statistica7 و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

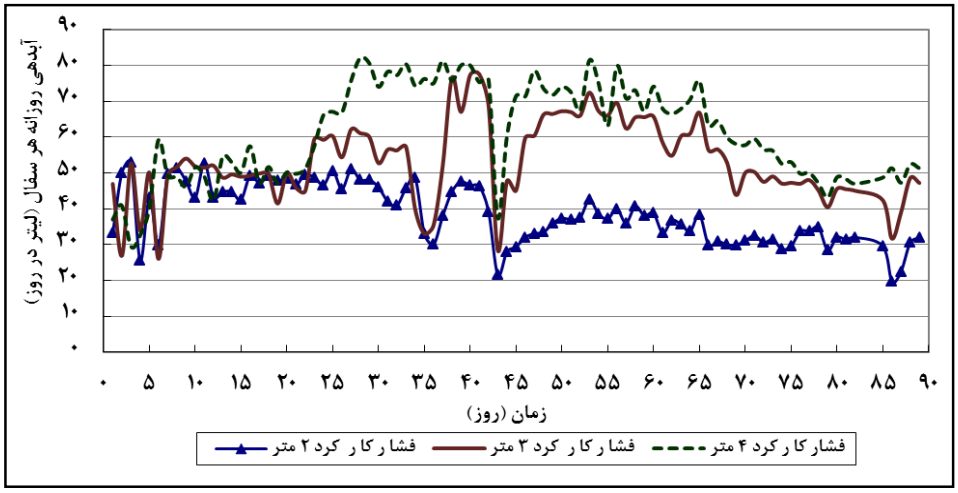
رابطه آبدهی- زمان

روند تغییرات آبدهی روزانه کپسول‌های سفالی نسبت به گذشت زمان در سه نوع بافت خاک لوم شنی، لوم رسی سیلتی و رسی سیلتی به‌ترتیب در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. شکل‌ها نشان می‌دهند که در شروع آزمایش‌ها، آبدهی سفال‌ها نوسان دارد که علت آن اشباع نشدن کامل جداره و خاک اطراف سفال در زمان‌های اولیهٔ آزمایش‌ها و نیز تنظیمات ورود و خروج آب از سیستم است. روند تغییرات آبدهی سفال‌ها نسبت به زمان، نشان می‌دهد که با به تعادل رسیدن سیستم‌های آزمایشی، آبدهی سفال‌ها سریعا افزایش می‌یابد و سپس به یک حد نسبتا ثابت می‌رسد که طی ۴۰-۳۰ روز همچنان تا حدودی ثابت بوده است. پس از گذشت این مدت زمان، آبدهی سفال‌ها به‌تدریج کاهش می‌یابد و پس از ۳۰-۲۰ روز به حد نسبتا ثابتی می‌رسد و تا آخر آزمایش‌ها تقریباً ثابت می‌ماند. به نظر می‌رسد کاهش آبدهی سفال‌ها به‌علت ماسه‌دهی چاه محل آزمایش (وجود ماسه در آب چاه) و نیز ماهیت ذاتی سفال (ترسیب بعضی از ترکیبات موجود در آب در جداره سفال) باشد.

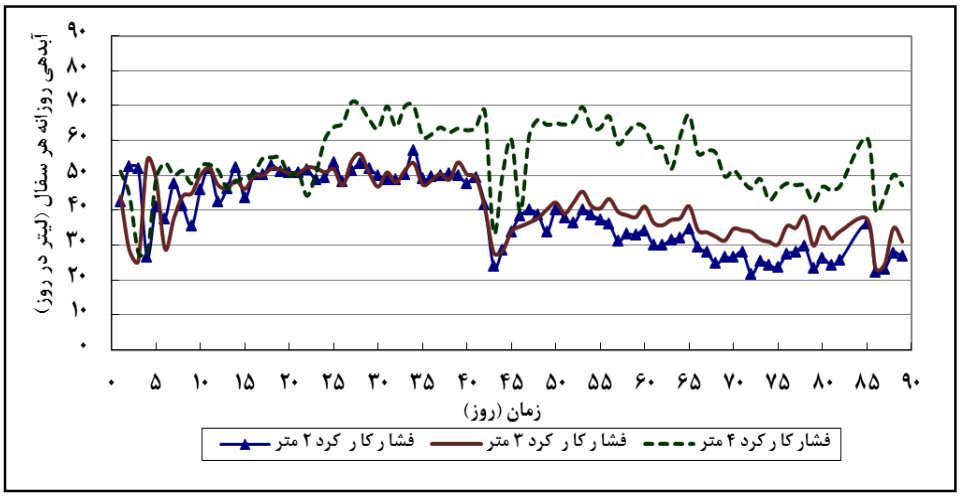
نوسان‌های مقطعی ثبت شده در آبدهی کپسول‌های سفالی، احتمالا به‌دلیل تغییرات دما و رطوبت نسبی در طول روزهای اندازه‌گیری و در نتیجه اثر دمای هوا روی لزوجت آب و اثر توامان دما و رطوبت نسبی هوا روی پتانسیل تبخیری هوا (مکش آب در خاک) و نیز قطع شدن موقت برق الکتروپمپ‌ها، برای سرویس و نگهداری آن‌ها است. وسادوان و همکاران (Vasudevan *et al*., 2007) نیز اثر دما و رطوبت نسبی ماهانه هوا را بر مقدار تراوش آب از کوزه در خاک، گزارش کرده‌اند. همچنین، نوسان‌هائی که در آبدهی سفال‌ها در

هر سه خاک و هر سه فشار کارکرد در میانه و انتهای آزمایش‌ها مشاهده می‌شود، به دلیل وقوع دو بارندگی (روزهای چهل و سوم و هشتاد و ششم) است که در آن روزها سیستم‌های آزمایشی خاموش شد تا رژیم رطوبتی خاک اطراف سفال‌ها و در نتیجه آبدهی آن‌ها تحت تأثیر بارندگی‌ها قرار نگیرد.

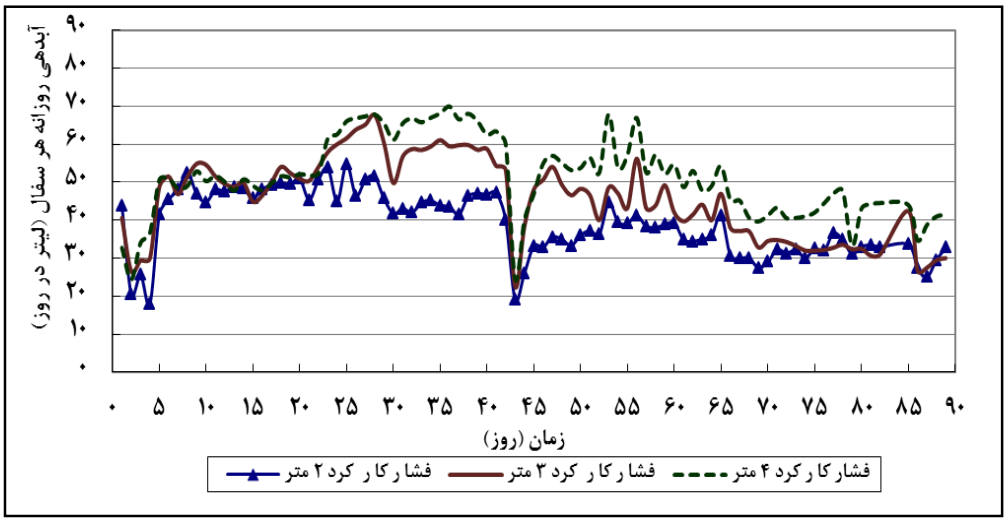
شکل‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهند که با افزایش تدریجی فشار کارکرد از دو متر به چهار متر ستون آب، آبدهی سفال‌ها در هر سه بافت خاک افزایش یافته است. اثر افزایش فشار بر آبدهی سفال‌ها نیز در خاک‌های سبک (لومی شنی) و بافت متوسط (لوم رسی سیلتی) بیشتر از اثر فشار بر آبدهی سفال در خاک‌های سنگین (رسی سیلتی) است که دلیل آن سهولت نسبی حرکت آب در خاک‌های سبک و متوسط بافت نسبت به خاک‌های سنگین بافت است. با گذشت زمان و افزایش رطوبت در نیمرخ خاک، ضریب هدایت هیدرولیکی خاک‌های سنگین بافت به‌مراتب کم‌تر از خاک‌های سبک بافت و متوسط بافت می‌شود.



شکل ۲- آبدهی روزانه هر سفال در خاک لومی شنی در سه فشار کارکرد متفاوت



شکل ۳- آبدهی روزانه هر سفال در خاک لوم رسی سیلتی در سه فشار کارکرد متفاوت



شکل ٤- آبدهی روزانه هر سفال در خاک رسی سیلتی در سه فشار کارکرد متفاوت

نوسانات آبدهی سفال‌ها در سه نوع خاک و سه فشار کارکرد متفاوت، در جدول ۲ خلاصه شده است. با عنایت به شاخص انحراف معیار به دست آمده برای هر سه خاک در این جدول، مشاهده می‌شود که نوسانات آبدهی سفال‌ها در سه بافت خاک، نزدیک به هم است. همچنین، نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها در جدول ۳ ارائه شده که نشان می‌دهد نوع خاک اطراف سفال و فشار کارکرد آن، اثر معنی‌داری به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد روی آبدهی قطعات سفالی دارند اما اثر متقابل نوع خاک اطراف سفال و فشار کارکرد سفال معنی‌دار نیست.

جدول ۲- شاخص‌های آماری آبدهی کپسول‌های سفالی در خاک‌ها و فشار کارکرد متفاوت

خاک	فشار (متر)	آبدهی (لیتر در روز)				ضریب تغییرات
		حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	
لومی شنی	۲	۵۲/۹۴	۱۹/۶۷	۳۸/۶۰	۸/۱۷	۰/۲۱
	۳	۷۷/۵۰	۲۶/۰۱	۵۳/۱۸	۱۱/۲۰	۰/۲۰
	۴	۸۲/۰۹	۲۹/۴۵	۶۱/۰۸	۱۳/۴۹	۰/۲۲
لوم رسی سیلتی	۲	۵۷/۲۳	۲۱/۷۵	۳۸/۹۵	۱۰/۳۹	۰/۲۴
	۳	۵۶/۱۰	۲۳/۳۳	۴۱/۴۵	۸/۴۳	۰/۲۰
	۴	۷۰/۹۷	۲۷/۶۵	۵۵/۲۴	۹/۶۷	۰/۱۷
رسی سیلتی	۲	۵۴/۸۱	۱۸/۰۰	۳۹/۰۹	۸/۴۱	۰/۲۱
	۳	۶۷/۶۱	۲۲/۵۰	۴۵/۷۱	۱۰/۸۹	۰/۲۳
	۴	۶۹/۹۰	۲۴/۳۶	۵۱/۴۴	۱۰/۵۲	۰/۲۰

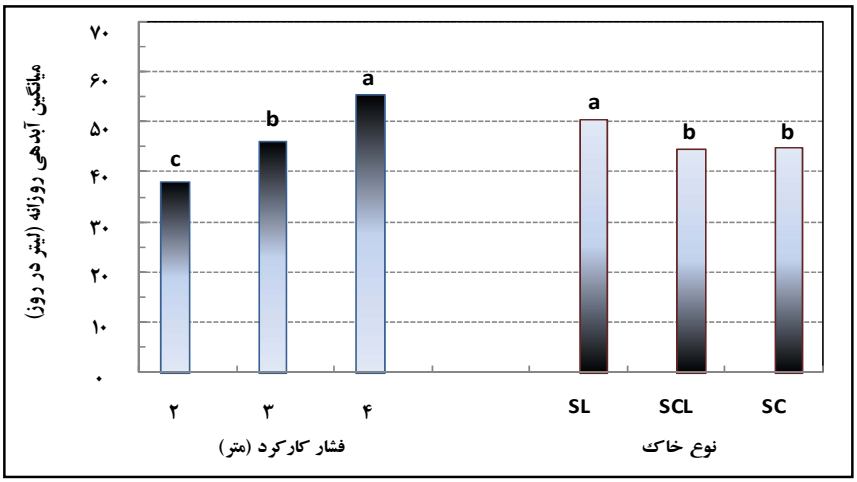
جدول ۳- نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های حاصل از آزمایش

منابع تغییرات	SS	درجهٔ آزادی	MS	F	P
تکرار	۷۳۰/۳۴	۲	۳۶۵/۱۷	۱۴/۶۰۳	۰/۰۰۰۲۴۶
نوع خاک	۲۰۸/۷۰	۲	۱۰۴/۳۵	۴/۱۷۳	۰/۰۳۴۸۰۱ *
فشار کارکرد	۱۳۶۲/۱۵	۲	۶۸۱/۰۷	۲۷/۲۳۶	۰/۰۰۰۰۰۷ **
نوع خاک×فشار کارکرد	۱۶۹/۹۹	۴	۴۲/۵۰	۱/۶۹۹	۰/۱۹۹۲۵۸ ns
خطا	۳۹۸/۹۹	۱۶	۲۴/۹۴	-	-

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد که بیشترین آبدهی سفال در خاک لوم شنی با میانگین ۵۰/۶۳ لیتر در روز است (شکل ۵). پس از آن خاک‌های لوم رسی سیلتی و رسی سیلتی هستند که در یک گروه قرار دارند و از نظر آماری اثر مشابه روی آبدهی سفال‌ها دارند (به ترتیب ۴۴/۶۵ و ۴۴/۸۲ لیتر در روز). همچنین مقایسه میانگین‌های اثر فشارهای کارکرد سفال به‌روش دانکن در سطح احتمال یک درصد، نشان داد که سه فشار دو، سه و چهار متر آب، از نظر آماری در گروه‌های متفاوت جای گرفته و بیشترین آبدهی در فشار کارکرد چهار متر (۵۵/۶۱ لیتر در روز) و کم‌ترین آبدهی در فشار کاری دو متر (۳۸/۲۲ لیتر در روز) اتفاق افتاده است (شکل ۵).

دلیل این تفاوت رفتار هیدرولیکی را می‌توان به سرعت جریان آب در خاک (مقدار هدایت هیدرولیکی) سه نوع بافت خاک ارتباط داد، زیرا هدایت هیدرولیکی خاک‌های سبک بیشتر از هدایت هیدرولیکی خاک‌های میان‌بافت بوده و این ویژگی در این خاک‌ها نیز بیشتر از خاک‌های سنگین است. اصولا تعداد منافذ درشت بیشتر از ۵۰ میکرومتر که هدایت و انتقال آب را به عهده دارند، در خاک‌های سبک بیشتر است تا در خاک‌های میان بافت و سنگین بافت (Vasudevan *et al.*, 2007). نتایج به دست آمده در این قسمت از پژوهش با نتایج حاصل از تحقیقات اشرفی و همکاران (Ashrafi *et al.*, 2002)، گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2009) و صالح و ستیوان (Saleh & Setiawan, 2010) هم‌خوانی دارد.



شکل ۵- مقایسهٔ میانگین آبدهی سفال‌ها در خاک‌ها و فشارهای کارکرد متفاوت به‌روش دانکن

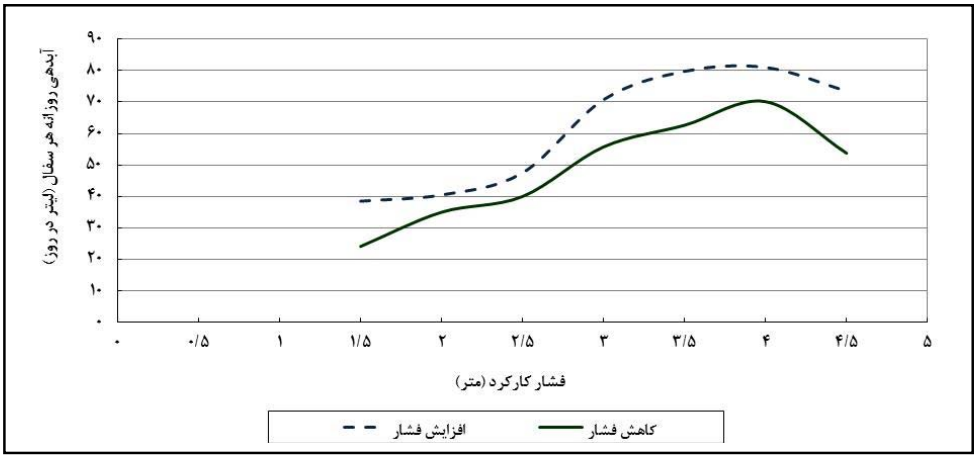
رابطه آبدهی- فشار

روند تغییر آبدهی سفال‌ها نسبت به تغییر فشار کارکرد سیستم آبیاری در شکل‌های ۶ الی ۸ نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع آب (تا حدود ۴- ۳/۵ متر)، (منحنی‌های خط چین)، آبدهی سفال‌ها در هر سه نوع خاک افزایش و با رسیدن به حداکثر آبدهی، در صورت افزایش فشار به ۴/۵ متر و احتمالا بالاتر از آن، آبدهی سفال‌ها کاهش می‌یابد (منحنی‌های خط‌چین). دلیل این رفتار، ظرفیت محدود خاک نیمه‌اشباع (اشباع مزرعه‌ای[1]) اطراف سفال در دریافت و انتقال آب تراوش‌یافته از سفال‌هاست. در این خاک‌ها و در چنین شرایطی، یک مقاومت هیدرولیکی در برابر حرکت آب از جداره سفال به خاک اطراف آن به‌وجود می‌آید که بازدارنده است و نه تنها اجازه افزایش سرعت جریان در خاک را نمی‌دهد، بلکه سرعت تراوش آب از سفال را کاهش می‌دهد.

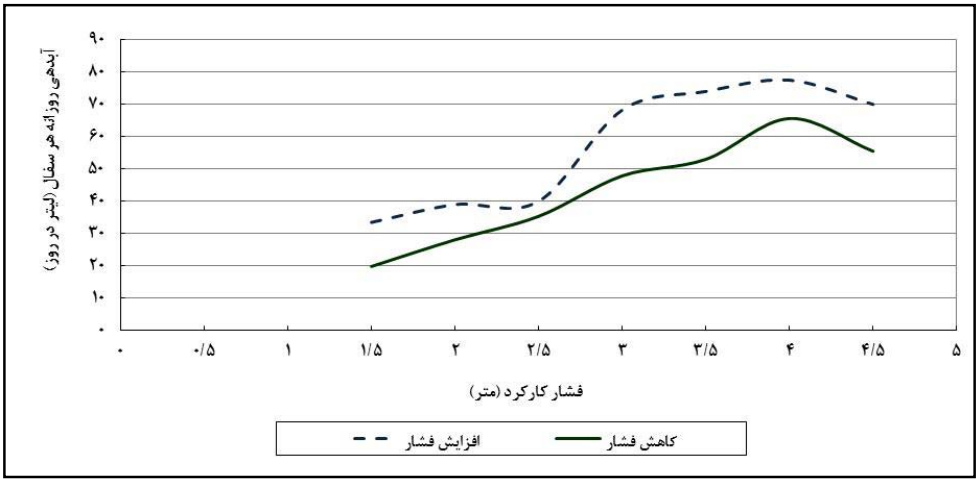
سری دوم از منحنی‌های ارائه شده در هر یک از شکل‌های ۶ الی ۸ (منحنی‌های پیوسته) نشانگر وضعیت آبدهی سفال‌ها به هنگام روند کاهشی در فشار کارکرد در سیستم آبیاری زیرسطحی سفالی است. همان‌گونه که از این نمودارها بر می‌آید، منحنی آبدهی- فشار حاصل در این شرایط کارکرد سفال برای سه خاک همواره پایین‌تر از منحنی‌های مشابه برای روند افزایش فشار است. روند به‌دست آمده در این قسمت از پژوهش با پدیدهٔ پسماند شباهت دارد که در تعیین و رسم منحنی خصوصیات رطوبتی خاک‌ها مشاهده می‌شود. دلایل ایجاد اثر پسماند رطوبتی در خاک عبارت‌اند از غیریکنواخت بودن منافذ خاک از نظر اندازه و شکل (خاصیت گلوگاهی منافذ خاک)، تأثیر زاویهٔ تماس و شعاع هلال آب در داخل لوله‌های مویین (خاصیت کشش سطحی)، وجود لوله‌های کور، محبوس شدن هوا در خاک به هنگام مرطوب شدن، تورم و انقباض ذرات خاک، حل شدن تدریجی هوا در آب یا خارج شدن گازهای محلول در آب خاک.

ضریب تبیین (R^2) به دست آمده برای رابطه‌های توانی[2]، لگاریتمی[3]، نمایی[4] و خطی[5] به‌ترتیب ۰/۹۵-۰/۶۲، ۰/۹۲-۰/۵۶، ۰/۸۸-۰/۴۸ و ۰/۸۹-۰/۴۴ هستند. تحلیل آماری در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد که بین دقت چهار تابع ریاضی بررسی شده به‌منظور بیان روند تغییرات آبدهی سفال‌ها نسبت به تغییرات فشار کارکرد، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. با این همه، بهترین روند پیش‌بینی تغییرات آبدهی- فشار را رابطهٔ توانی دارا است. نتایج این تحلیل رگرسیونی برای بهترین روند پیش‌بینی، در جدول ۴ ارائه شده است. وجود رابطه‌ای خطی بین فشار آب و آبدهی از کوزه در فضای باز را بهنیا و عرب‌فرد (Behnia & Arab-Fard, 2005) گزارش کرده‌اند. گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2009) نیز وجود رابطه‌ای خطی بین آبدهی کپسول‌های سفالی و فشار کارکرد آن‌ها را در فضای باز (خارج از خاک) و نیز رابطه‌ای غیرخطی بین این دو پارامتر را در دو خاک ماسه‌ای ریز و لوم شنی، گزارش کرده‌اند. قربانی‌واقعی و همکاران (Ghorbani-Vaghei *et al.*, 2010) نیز رابطهٔ آبدهی- فشار در کپسول سفالی ساخته شده با خاک لومی رسی را خطی گزارش کرده‌اند ولی می‌گویند این رابطه با افزایش درصد شن‌ریز در مخلوط مورد استفاده در ساخت کپسول، غیرخطی (نمایی) است. با عنایت به حاکم بودن رابطه توانی ($q=K_d.H^x$) برای انواع گسیلنده‌های مورد استفاده در سامانه‌های آبیاری تحت فشار (آب‌پاش‌ها و قطره‌چکان‌ها)، به نظر می‌رسد استفاده از رابطه توانی به دست آمده در این جدول برای کپسول‌های سفالی مناسب‌تر و متعارف‌تر باشد.

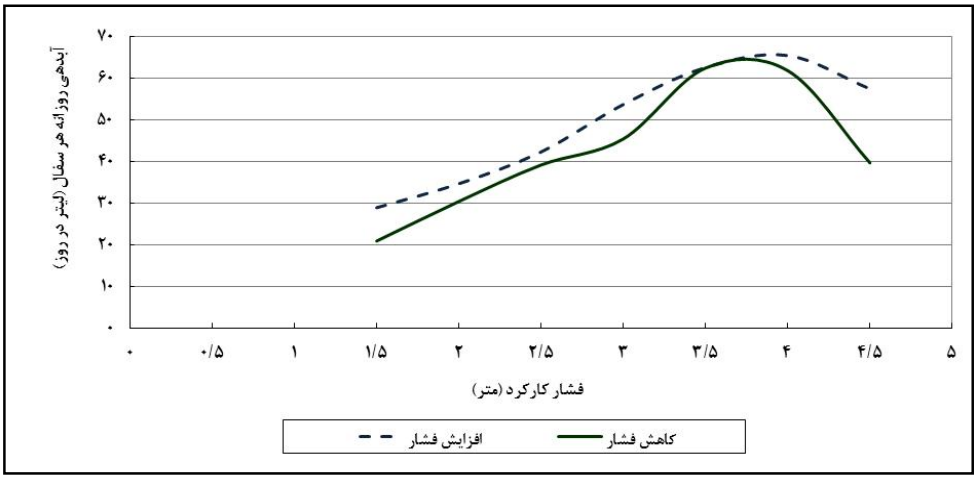
1- Field Saturated Soil
2- Power
3- Logarithmic
4- Exponential
6- Linear



شکل ٦- رابطهٔ آبدهی- فشار سفال‌ها در خاک لومی شنی در فشارهای مختلف



شکل ۷- رابطهٔ آبدهی- فشار سفال‌ها در خاک لوم رسی سیلتی در فشارهای مختلف



شکل ۸- رابطهٔ آبدهی- فشار سفال‌ها در خاک رسی سیلتی در فشارهای مختلف

جدول ٤- تحلیل رگرسیونی انجام شده برای رابطه آبدهی- فشار* در سه خاک متفاوت

نوع خاک	روند تغییر	رگرسیون توانی	
	فشار	معادله	ضریب تبیین
لومی شنی	افزایشی	$y = 26.419x^{0.775}$	$R^2 = ۰/۸۶$
	کاهشی	$y = 18.415x^{0.886}$	$R^2 = ۰/۸۶$
لوم رسی سیلتی	افزایشی	$y = 22.698x^{0.845}$	$R^2 = ۰/۸۵$
	کاهشی	$y = 13.572x^{1.058}$	$R^2 = ۰/۹۵$
رسی سیلتی	افزایشی	$y = 19.464x^{0.808}$	$R^2 = ۰/۹۰$
	کاهشی	$y = 19.130x^{0.773}$	$R^2 = ۰/۶۲$

* y- آبدهی سفال (لیتر در روز)، x- فشار کارکرد سفال (ارتفاع برحسب متر)

نتیجه‌گیری

به‌رغم سنتی بودن آبیاری زیرسطحی سفالی، این سیستم به‌ویژه در مناطق خشک دارای پتانسیل تبخیر بالا، راندمان آبیاری خیلی خوبی دارد. گردایان هیدرولیکی به‌وجود آمده در این سیستم آبیاری، حاصل فشار مثبت درون سفال‌ها و فشار منفی (مکش) موجود در خاک اطراف سفال است که با گذشت زمان و با افزایش رطوبت نسبی خاک اطراف سفال، کاهش می‌یابد و در نتیجه آبدهی سفال کاهش خواهد یافت و خاصیت خودتنظیمی تراوش آب از سفال را ایجاد می‌کند. بررسی ویژگی‌های هیدولیکی سفال در انواع خاک‌ها می‌تواند منجر به تدوین دستورالعمل‌های طراحی این سیستم آبیاری شود مانند: تعداد سفال مورد نیاز برای تامین نیاز آبی انواع گیاهان، مدیریت آبیاری (زمان، دور و عمق آبیاری)، عمق کارگذاری سفال‌ها، فاصلهٔ قرارگیری سفال‌ها از یکدیگر، درجهٔ فیلتراسیون لازم برای سفال‌ها، عمر مفید سفال‌ها و فشار کارکرد آن‌ها. بررسی روابط آبدهی- زمان و آبدهی- فشار کپسول‌های سفالی خاک‌های مختلف نشان می‌دهد که به شرط فیلتراسیون مناسب و استفاده از کیفیت آب آبیاری قابل قبول، آبدهی سفال‌ها برای تامین نیاز آبی گیاهان مناسب است و تغییرات آبدهی با گذشت زمان، به شکلی سریع کاهش نمی‌یابد. رابطهٔ آبدهی- فشار کپسول‌های سفالی در هر سه نوع خاک غیرخطی و بهترین فشار کارکرد کپسول‌های سفالی برای هر سه خاک، معادل ۴-۳/۵ متر ارتفاع آب است. برای پژوهش‌های آتی نیز کمّی کردن درجات متفاوت فیلتراسیون در تغییر آبدهی سفال‌ها طی زمان و اثر نوع خاک و تخلخل و هدایت هیدرولیکی جدارهٔ سفال در آبدهی سفال‌ها، پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

از مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به جهت فراهم کردن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش و از کمسیون آب شورای پژوهش‌های کشور به‌دلیل حمایت‌های مالی آن قدردانی می‌شود.

مراجع

Abu-Zreig, M. and Atoum, M. F. 2004. Hydraulic characteristics and seepage modelling of clay pitchers produced in Jordan. Canad. Biosys. Eng. 46(1): 15-20.

Abu-Zreig, M., Y. Abe, Y. and Isoda, H. 2006. The Auto-regulative capability of pictcher irrigation system. Agric. Water Manage. 85: 272-278.

Abu-Zreig, M., Khdair, A. and Alazba, A. 2009. Factors affecting water seepage rate of clay pitchers in arid lands. University Sharjah. J. Pur. Appl. Sci. 6(1): 59-80.

Ajit, N., Virendra, K., Mahesh, K., Purohit, R. C. and Singhvi, B. S. 2007. Hydraulic study of earthen pitchers. J. Agric. Eng. 44(2): 156-164.

Ashrafi, Sh., Gupta, A., Singh, M. B., Izumi, N. and Loof, N. 2002. Simulation of infiltration from porous clay pipe in subsurface irrigation. Hydrol. Sci. J. 47(2): 253-268.

Bahrami, H. A., Ghorbani-Vaghei, H., Alizadeh, P., Nasiri, F. and Mahallati, Z. 2011. Fuzzy modeling of soil water distribution using porous clay capsule irrigation from a subsurface point source. Sens. Lett. 8(1): 75-80.

Bainbridge, D. A. 2001. Buried clay pot irrigation: A little known but very efficient traditional method of irrigation. Agric. Water Manage. 48, 79-88.

Batchelor, C., Christopher, L. and Murata, M. 1996. Simple microirrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. Agric. Water Manage. 32, 37-48.

Behnia, A. K. and Arab-Fard, M. 2005. Determination of discharge-pressure relation of pitchers using in pitcher irrigation. Agri. Sci. Technol. J. 19(1): 1-12. (in Farsi)

Ghorbani-Vaghei, H., Bahrami, H. A., Alizadeh, P. and Nasiri, F. 2011. Hydraulic characteristics of porous clay capsules and its effect on soil moisture distribution. J. Water Res. Agric. 9(5): 131-140. (in Farsi)

Ghorbani-Vaghei, H., Bahrami, H. A., Alizadeh, P., Nasiri, F. and Mahallati, Z. 2010. Improving physical and hydraulic properties of porous clay capsules from a subsurface point source. Twin International Conference on Geotechnical and Geo-Environmental Engineering CUM (7^{th}) Ground Improvement Techniques. June 23-25. Seoul. Korea.

Gupta, A. D., Singh-Babel, M. and Ashrafi, S. 2009. Effect of soil texture on the emission characteristics of porous clay pipe for subsurface irrigation. Irrig. Sci. 27, 201-208.

Hussain, G., Al-Jaloud, A. A., Al-Shammafy, S. A., Karimulla, S. and Al-Aswad, S. O. 1997. Effect of saline irrigation on germination and growth parameters of barley in a pot experiment. Agric. Water Manage. 34(2): 125-135.

Kazemi, A. A., Karegar, A. R., Karegar, H., Sadri, S., Dehghan, A., Ghazanfarain, V. A. and Karbalaei, H. 2003. Assessment of subsurface pitcher irrigation on tree vegetation in desert area with clay pipes. J. Fore. Past. 74, 88-93. (in Farsi)

Majidi, E., Zarei, Gh., Keshavarz, A., Hejazi, S. M. 2009. Assessment of possibility of subsurface clay pipe irrigation method for agricultural and horticultural crops. Research Report . No. 88/281. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). (in Farsi)

Naik, B. S., Panda, R. K., Nayak, S. C. and Sharma, S. D. 2008. Hydraulics and salinity profile of pitcher irrigation in saline water condition. Agric. Water Manage. 95, 1129-1134.

Saleh, E. and Setiawan, B. I. 2010. Numerical modeling of soil moisture profiles under pitcher irrigation application. Agric. Eng. Int. CIGR J. 12(2): 14-20.

Siyal, A. A. and Skaggs, T. H. 2009. Measured and simulated soil wetting pattern under porous clay pipe subsurface irrigation. Agric. Water Manage. 96, 893-904.

Siyal, A. A., Van-Genuchten, M. T. and Skaggs, T. H. 2009. Performance of pitcher irrigation system. Soil Sci. 174(6): 312-320.

Stien, T. M. 1998. Development of design criteria for pitcher irrigation. Ph. D. Thesis. Crandfield Institute of Technology. Silsio College.

Vasudevan, P., Thapliyal, A., Dastida, M. G. and Sen, P. K. 2007. Pitcher or clay pot irrigation for water conservation. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering. Dec. 29-31. Daka. Bangladesh. 29-31.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.14/No.4/2014/P:57-72

Hydraulic Characteristics of Porous Clay Capsules in a Subsurface Irrigation System at Three Soil Textures

Gh. Zarei* and S. A. Shahpari

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agriculture Engineering Research Institute (AERI), P. O. Box: 31585-845, Karaj, Iran. E-mail: ghzarei4554@yahoo.com

Received: 26 December 2012, Accepted: 24 August 2013

The latest recommendations of the International Commission on Irrigation and Drainage from the 8th Micro-irrigation Congress held in 2011 in Iran was to develop a global orientation for subsurface micro-irrigation methods. The congress focused attention on the international dimensions of water scarcity, especially in arid and semi-arid regions of the world. Aridity and the cumulative effect of successive droughts in Iran have made the clay subsurface irrigation system of concern to farmers, experts, and researchers. Although this irrigation method is traditional and has both advantages and disadvantages over other subsurface micro-irrigation methods, with modification to its mechanism, it can be a suitable application for Iran. The hydraulic properties of porous clay capsules have a major effect on the performance of clay subsurface irrigation systems. The present study determined the relationship between seepage rate-time and seepage rate-hydrostatic pressure of porous clay capsules used in clay subsurface irrigation systems. The experiments examined three soil textures (sandy loam, silty clay loam, silty clay) under actual field conditions on the large scale. They were conducted as a randomized complete block design with a split plot layout and three replications. The results obtained over three months of operation at 2, 3 and 4 m of hydrostatic pressure show that the daily seepage rate of porous clay capsules were significantly affected by soil texture. In addition, the effect of operating pressure on the seepage rate of porous clay capsules in the three soils was significant. Also, the results of testing of seepage rate-hydrostatic pressure over a two-week period for the three soil types showed a nonlinear relationship (power) between the two irrigation system design factors. The best hydrostatic pressure for porous clay capsules in the three soil textures was 3.5-4 m.

Keywords: Clay capsule irrigation, Hydraulic properties, Hydrostatic pressure, Seepage rate, Sub-surface irrigation