نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال چهارم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۳

ISSN 2251-7480

بهبود یکنواختی توزیع بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها در سامانه‌های اکسیژن- آبیاری

منوچهر ترابی [۱*]، دیوید جی. میدمور [۲]، کری بی. والش [۳] و سوریا پی. باترای [٤]

۱*) عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان؛ اصفهان؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: mctorabi@yahoo.com

۲) استاد مرکز علوم آب و گیاه در دانشگاه کوئینزلند مرکزی، استرالیا

۳) استاد مرکز علوم آب و گیاه در دانشگاه کوئینزلند مرکزی، استرالیا

٤) مدرس و پژوهشگر مرکز علوم آب و گیاه، دانشگاه کوئینزلند مرکزی، استرالیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۳

چکیده

تحقیقاتی که تاکنون انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از اکسیژن- آبیاری به دلیل تأمین اکسیژن کافی در محیط ریشه، می‌تواند به نحو مؤثری موجب افزایش عملکرد گیاهان شود. با این حال، غیریکنواختی شدید در توزیع بده هوای خروجی از قطره‌چکان‌ها در امتداد لوله‌های آبده نقص مهمی به‌شمار می‌رود. در این پژوهش، تأثیر مستقل و یا هم‌زمان افزودن سرفکتنت با غلظت نهایی ppm ۳۲ و نصب عوامل آشفته‌گر موضعی جریان قبل از بست‌های ابتدایی، بر یکنواختی بده هوای قطره‌چکان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بست‌های ۹/۵ میلی‌متری نامتقارن و متقارن، افزودن سرفکتنت به آب آبیاری باعث افزایش ضریب یکنواختی توزیع کریستیانسن (CUC) بده هوای قطره‌چکان‌ها به ترتیب از ۸۲٪- به ۳۷٪ و از ۱٪ به ۲۳٪ در مقایسه با تیمار شاهد (یعنی آب تهویه شده فاقد سرفکتنت) می‌گردد. همچنین، اضافه نمودن سرفکتنت در آب سامانه های اکسیژن-آبیاری با بست‌های متقارن ۹/۵ و ۷ میلی‌متری منجر به افزایش CUC به ترتیب از ۱٪ به ۲۳٪ و از ۴۱٪- به ۳۹٪ می‌شود. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد همزمان سرفکتنت و عوامل آشفته‌گر موضعی در یک سامانه اکسیژن-آبیاری با بست‌های ابتدایی به طول ۹/۵ میلی‌متر از نوع متقارن و نامتقارن، با افزایش CUC به ترتیب از ۸۲٪- به ۴۸٪ و از ۱٪ به ۵۳٪ نسبت به شرایط شاهد (یعنی آب تهویه شده بدون سرفکتنت و عوامل آشفته‌گر جریان) بهبود پیدا می‌کند.

کلید واژه‌ها: اکسیژن-آبیاری؛ حباب هوا؛ سرفکتنت؛ ضریب یکنواختی کریستیانسن

مقدمه

در هر آبیاری، صرف‌نظر از روش مورد استفاده، با نفوذ آب به درون خاک، هوای موجود در منافذ خاک خارج شده و به تدریج شرایط غیرهوازی در اطراف ریشه شکل می گیرد (Blokhina *et al.*, 2003; Su and Midmore, 2005). کمبود یا فقدان اکسیژن در محیط ریشه، تاثیر بسیار نامطلوبی بر رشد ریشه دارد و باعث کاهش رشد طولی ریشه و در نتیجه اختلال در جذب آب و مواد غذایی و نهایتا کاهش عملکرد گیاه خواهد شد (Aguilar *et al.*, 2003; Visser *et al.*, 2003). تحقیقات نشان می دهد که تهویه مصنوعی محیط ریشه باعث بهبود نسبی عملکرد گیاهان کاشته شده در محیط آب‌کشت و نیز در بسترهای خاکی می گردد (Hassanzadeh Mobini *et al.*, 2009; Niu *et al.*, 2012). با این حال، تزریق

مستقیم هوای فشرده به خاک، بویژه در شرایط مزرعه امکان‌پذیر نمی‌باشد زیرا علاوه بر هزینه‌بر بودن این روش، هوای تزریق شده به سهولت در اثر پدیده موسوم به دودکش بخاری[1] از محیط خاک خارج می‌شود بدون آن‌که فرصت کافی داشته باشد تا جذب ریشه بشود و تاثیر مثبت خود را به‌جا گذارد (Bhattarai and Midmore, 2009). تحقیقات جدید بیانگر آنست که با نصب یک ونتوری روی لوله اصلی سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی می‌توان هم‌زمان با آبیاری، اکسیژن هوا را نیز به محیط ریشه انتقال داد بدون آن‌که پدیده "دودکش بخاری" باعث فرار اکسیژن گازی از نیمرخ خاک شود (Goorahoo *et al.*, 2002). این شیوه تهویه مصنوعی محیط ریشه که می‌توان آن را اکسیژن-آبیاری نامید، در منابع خارجی به نام "AirJection Irrigation" (Goorahoo *et al.*, 2006) و یا "Oxygation" (Bhattarai *et al.*, 2005) موسوم است. در اکسیژن-آبیاری، ورود هوا از طریق ونتوری به درون سامانه آبیاری بر پایه اصل برنولی صورت می‌گیرد (Bhattarai et al., 2005). پژوهش های اخیر حاکی از آن است که اکسیژن-آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری قطره ای زیرسطحی باعث افزایش در وزن عملکرد گیاهانی مانند سویا (۴۳ درصد)، نخود (۱۱ درصد) و کدو تنبل (۱۵ درصد) شده است (Bhattarai *et al.*, 2008). اکسیژن-آبیاری گیاه سیب زمینی منجر به ۱۴٪ افزایش در وزن غده گردید (Essah *et al.*, 2009). علاوه بر این، شاخص سطح برگ در مرحله حجیم شدن غده[2] در تیماری که آب تهویه شده دریافت کرده بود، تقریبا دو برابر بزرگتر از تیمار شاهد بود. اکسیژن-آبیاری گیاهان پنبه کاشته شده در یک خاک سنگین رسی منجر به افزایش ۲۷٪ وزن الیاف پنبه و ۲۶٪ کارآیی مصرف آب شد (Pendergast and Midmore, 2006). علیرغم اثرات مثبتی که اکسیژن-آبیاری بر عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی داشته است، مواردی دال بر رشد غیر یکنواخت گیاهان در امتداد لوله‌های آبده سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی نیز گزارش شده است. به عنوان مثال، آبیاری فلفل دلمه ای با آب تهویه شده به میزان ۱۲٪ (بر پایه حجمی) باعث شد تعداد میوه ۳۳ درصد و وزن میوه ۳۹ درصد نسبت به بوته هایی که با آب تهویه نشده آبیاری شده بودند، افزایش در عملکرد نشان دهد. با این حال، بررسی های بیشتر نشان داد که افزایش های یاد شده در وزن و تعداد میوه، یک روند نزولی از قسمت بالادست لوله آبده به سمت پایین دست لوله نشان می دهند (Goorahoo *et al.*, 2002). مشابه همین روند، در اکسیژن-آبیاری گیاه گوجه فرنگی نیز گزارش شده است (Goorahoo *et al.*, 2007). به عبارت دیگر، میزان افزایش در عملکرد وزن میوه در تیماری که با آب تهویه شده آبیاری شده بود، در طول لوله آبده دارای روندی نزولی (از بالا دست به سمت پایین دست لوله آبده) بود. در تحقیقاتی که به آن ها اشاره شد، توجه و تلاش محققین بیشتر معطوف به تامین اکسیژن برای ریشه گیاهان بود تا از شدت عوارض منفی ناشی از شرایط موقت بی هوازی در محیط ریشه بکاهند. به نظر می رسد که در یک سامانه اکسیژن-آبیاری با توزیع غیر یکنواخت بده خروجی هوا از قطره چکان ها در امتداد لوله های آبده، گیاهان آبیاری شده با قطره چکان هایی که فاصله کمتری با ونتوری تزریق هوا دارند (یعنی قطره چکان های نصب شده در قسمت بالادست لوله آبده)، بیش از حد انتظار اکسیژن دریافت می کنند و بالعکس، گیاهانی که توسط قطره چکان های نصب شده در قسمت پایین دست لوله آبیاری می شوند، کمتر از حد انتظار اکسیژن دریافت می کنند (Torabi *et al.*, 2013). در این تحقیق، تلاش شده است تا راه هایی برای بهبود یکنواختی بده هوای خروجی از قطره چکان ها در سامانه های اکسیژن-آبیاری جستجو شود تا در پی آن بتوان شاهد پاسخ یکنواخت تری از سوی گیاهان به تهویه ریشه بود.

[1] - Chimney Effect
[2] - Bulking Phase

به نظر می رسد یکی از راه‌هایی که ممکن است منجر به بهبود یکنواختی توزیع بده هوای قطره چکان‌ها شود، استفاده از سرفکتنت[1] در اکسیژن-آبیاری باشد. سرفکتنت ها موادی شیمیایی از نوع ترکیبات آلی هستند که مولکول‌های آن ها از دو بخش آب‌دوست و آب‌گریز تشکیل شده‌اند. زمانی که این مواد به مخلوط آب و هوا اضافه می‌شوند، تمایل به تجمع در سطح حباب‌های هوا دارند و باعث بروز تغییراتی در فصل مشترک آب و هوا می‌شوند (Mulligan *et al.*, 2001). در حقیقت، جزء آب‌گریز سرفکتنت از طریق شکستن پیوند های هیدروژنی موجود در مولکول های آب و تشکیل ساختار مولکولی جدید اختلالاتی را در ساختار مولکولی آب ایجاد می کنند. در نتیجه این بهم ریختگی، برخی از مولکول های سرفکتنت به سوی فصل مشترک آب و هوا رانده می شوند در حالی که آرایش اجزاء آب‌گریز به نحوی سازمان دهی شده است که تماسشان با مولکول های آب به حداقل برسد. در این هنگام، سطح آب از یک لایه مولکول سرفکتنت به گونه ای پوشیده می شود که جزء آب‌گریز آن ها عمدتا به طرف خارج آب (یعنی به سمت هوا) قرار می گیرد. چون مولکول های هوا اساسا ماهیتی غیر قطبی دارند (هم چنان که جزء آب گریز سرفکتنت هم ماهیتی غیر قطبی دارد)، این کاهش ناهمسانی در ویژگی های آب و هوا در ناحیه فصل مشترکشان، منجر به کاهش کشش سطحی آب می گردد. همچنین، با توجه به این که کشش سطحی آب رابطه ای معکوس با کسینوس زاویه تماس دارد، هر گونه کاهش در کشش سطحی منجر به افزایش در مقدار کسینوس زاویه تماس و در نتیجه کاهش اندازه این زاویه خواهد شد (Rosen and Kunjappu, 2012). این ویژگی‌ها باعث شده است که امروزه از سرفکتنت‌ها در موارد متعددی از جمله علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، مواد افزودنی به خاک (جهت بهبود دسترسی ریشه به مواد عذایی، و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه)، محافظت گیاهان از خطر یخبندان، و نیز به عنوان مواد تنظیم کننده رشد گیاهی در کشاورزی نوین استفاده شود (Porter, 1990). تحقیقاتی که از چند دهه پیش انجام شده‌اند نشان می‌دهند که استفاده از سرفکتنت‌ها در خاک‌های آب‌گریز[2] باعث افزایش نفوذپذیری خاک، بهبود جوانه زنی بذر و استقرار نهال و کاهش فرسایش خاک شده است (Madsen *et al.*, 2012). همچنین، آبیاری با آب حاوی سرفکتنت در خاک‌های متراکم و ریز بافت افزایش معنی‌دار عملکرد گیاهان زراعی را به همراه داشته است (Brumbaugh and Petersen, 2001). در این پژوهش، تاثیر شکل هندسی بست‌های ابتدایی و طول آن‌ها، افزودن سرفکتنت به آب آبیاری، و عوامل آشفته‌گر موضعی جریان در یک سامانه اکسیژن-آبیاری بر میزان یکنواختی توزیع بده جریان خروجی از قطره چکان ها در طول لوله های آبده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش ها در دانشگاه سنترال کوئینزلند واقع در شهر راکهمپتون استرالیا انجام شد. سامانه اکسیژن-آبیاری این تحقیق از یک مخزن آب ۲۰۰ لیتری، یک پمپ گریز از مرکز، دو عدد ونتوری، و یک لوله آبیاری از جنس پلی‌اتیلن به قطر داخلی ۱۹ میلی‌متر و طول ۲۰۰ متر تشکیل شده است. به علت عدم دسترسی به مکان مناسب، لوله آبیاری بجای استقرار در مسیر مستقیم، به شکل حلزونی و متشکل از چهار حلقه نصب گردید (شکل ۱). شعاع هر حلقه تقریبا ۸ متر است. اندازه گیری بده هوای قطره چکان‌ها در ١٦ ایستگاه که به فاصله مساوی از هم در طول لوله آبیاری قرار داشتند، انجام شد. هر حلقه شامل چهار ایستگاه اندازه گیری بده هوای قطره چکان ها، و هر ایستگاه از سه قطره چکان متوالی تشکیل شده بود که در محاسبات از میانگین سه بده اندازه گیری شده در هر ایستگاه استفاده می‌شد. برای تزریق سرفکتنت

[1] - Surface Active Agent (Surfactant)

[2] - Water Repellent Soils

از ونتوری نوع Netafim™ ، و برای تزریق هوا از ونتوری نوع Mazzei™ استفاده شد. آبدهی قطره چکان‌ها $L\ h^{-1}$ ۱/۲ و فاصله آن‌ها از یکدیگر ۲۵ سانتی‌متر بود. قطره چکان ها از نوع تعادل فشار و ضریب تغییرات ساخت آن‌ها برای جریان آب ۰/۰۲۱ بود. برحسب نوع و طول بست ابتدایی[1] استفاده شده برای قطره چکان‌ها، سه آزمایش انجام شد (جدول ۱).

[1] - Connector

جدول ۱. جزئیات آزمایش‌های سه گانه

شماره آزمایش	نوع و طول بست ابتدایی (mm)	بده قطره چکان ($L\ h^{-1}$)	وجود/عدم وجود عوامل آشفته‌گر موضعی جریان	اختلاف فشار در دو سر ونتوری هوا (kPa)	اختلاف فشار در دو سر ونتوری سرفکتنت (kPa)
۱	نامتقارن، ۹/۵	۱/۲	+/−	۲۷۶	۳۰۹
۲	متقارن، ۹/۵	۱/۲	+/−	۲۷۶	۳۰۹
۳	متقارن، ۷	۱/۲	−	۲۷۶	۳۰۹

جدول ۲. بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها و CUC مربوطه در آزمایش‌های سامانه اکسیژن-آبیاری

شماره آزمایش	نوع و طول بست (mm)	بدون وجود عوامل موضعی آشفته‌گر جریان				با وجود عوامل موضعی آشفته‌گر جریان			
		بدون سرفکتنت* ($L\ h^{-1}$)	CUC (٪)	با سرفکتنت* ($L\ h^{-1}$)	CU (٪)C	بدون سرفکتنت* ($L\ h^{-1}$)	CU (٪)C	با سرفکتنت* ($L\ h^{-1}$)	CU (٪)C
۱	نامتقارن، ۹/۵	۰/۹۳±۰/۲۵	−۸۲	۰/۲۳±۰/۰۱	۳۷	۰/۵۲±۰/۱۳	−٦٤	۰/۱۷±۰/۰۱	٤۸
۲	متقارن، ۹/۵	۰/۱۷±۰/۰۲	۱	۰/۲۳±۰/۰۲	۲۳	۰/۰٤±۰	۱۸	۰/۱٦±۰/۰۱	۵۳
۳	متقارن، ۷	۰/٤۱±۰/۰۷	−٤۱	۰/۲۰±۰/۰۱	۳۹	−	−	−	−

*مقادیر شامل میانگین±خطای معیار می‌باشد.

بست ابتدایی به قطعه ای اطلاق می شود که وظیفه اتصال قطره چکان به لوله آبده را دارد و در مواقعی به کار می رود که قطره چکان از نوع روی خط باشد[2]. بست‌های ابتدایی از نوع نامتقارن ۹/۵ میلی‌متری (شکل ۲، الف)، متقارن ۹/۵ میلی‌متری (شکل ۲، ب) و متقارن ۷ میلی‌متری بودند (شکل ۲، ج). بست‌های ابتدایی نامتقارن به گونه‌ای نصب شده بودند که بخش مورب آن‌ها بر خلاف مسیر حرکت جریان آب قرار گرفته بود. در تمام آزمایش‌ها، از یک سرفکتنت غیریونی زیست‌تجزیه‌پذیر[3] از نوع آلکوکسیلات الکل[4] استفاده شد. در هر یک از آزمایش‌های شماره ۱ و ۲، ابتدا میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان ها در شرایطی که نه سرفکتنت به آب اضافه شده بود و نه عوامل آشفته گر روی لوله آبده نصب شده بود (تیمار شاهد) ، اندازه گیری شد. سپس برای سه حالت شامل "حضور سرفکتنت و عدم وجود عوامل آشفته گر"، "عدم وجود سرفکتنت و حضور عوامل آشفته گر" و "حضور سرفکتنت و عوامل آشفته گر" میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان ها محاسبه گردید.

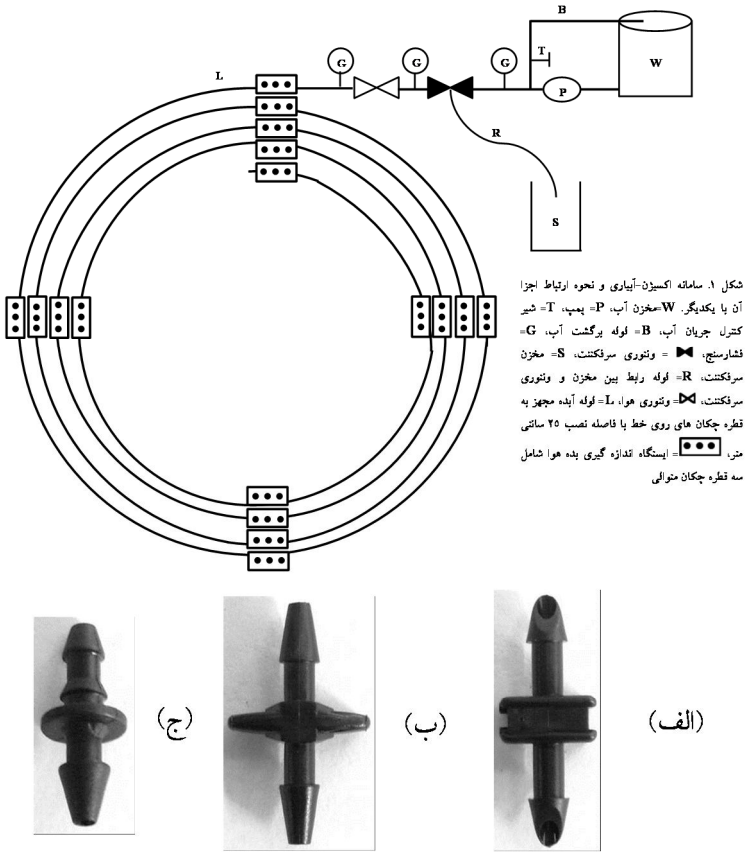
عامل آشفته‌گر موضعی جریان در واقع یک بست ابتدایی از نوع نامتقارن است که یک سر آن (سری که بیرون از لوله آبیاری قرار دارد) مسدود شده است. در آزمایش سوم که با استفاده از بست‌های ابتدایی متقارن ۷ میلی‌متری انجام گرفت، مقادیر بده هوای قطره چکان‌ها صرفا در شرایط وجود یا عدم وجود سرفکتنت با غلظت نهایی ۳۲ ppm بررسی شد. در هر سه آزمایش، از ضریب یکنواختی کریستیانسن (Howell, 2003) برای ارزیابی و تحقیق در باره میزان یکنواختی توزیع بده هوای قطره چکان‌ها، به شرح زیر استفاده شد:

[2] - On-line
[3] - Biodegradable
[4] - Alcohol alkoxylate

$$CUC = 100\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - \mu|}{\sum_{i=1}^{n} X_i}\right) \qquad (۱)$$

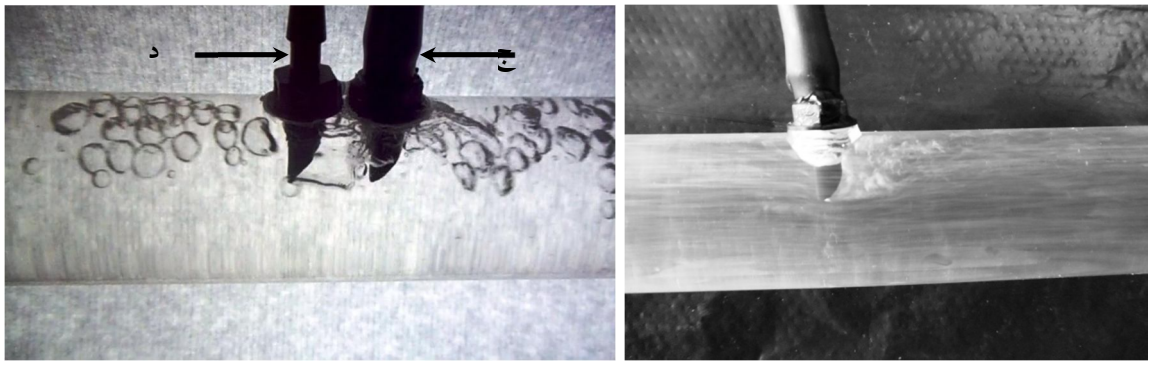
که در آن، CUC ضریب یکنواختی کریستیانسن (٪)، μ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی بده‌ی هوای خروجی از قطره چکان‌ها ($L\ h^{-1}$)، X_i بده‌ی هوای قطره چکان‌ها ($L\ h^{-1}$) و n تعداد اندازه گیری‌ها می‌باشد.

در این آزمایش‌ها، اندازه گیری بده هوا در دو حالت انجام می‌شد. در حالتی که از سرفکتنت استفاده نمی شد، ارتباط ونتوری تزریق سرفکتنت با مخزن سرفکتنت به طور کامل قطع و صرفا، هوا از طریق ونتوری مربوطه به درون آب تزریق می‌شد. در حالتی که باید سرفکتنت به جریان تزریق می شد، هر دو ونتوری فعال بودند. برای اندازه گیری بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها، به شرح زیر اقدام شد. در هر ایستگاه اندازه گیری، یک سطل پر از آب مقابل هر قطره چکان قرار داشت و یک بطری پر از آب به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر به صورت واژگون به نحوی درون سطل مستقر شده بود که دهانه بطری همواره به اندازه‌ی حدود ۱۰ سانتی‌متر زیر سطح آب درون سطل قرار داشت. به محض قرار دادن قسمت خروجی قطره چکان درون بطری، زمان هم یادداشت می‌شد. هوایی که از قطره چکان خارج می‌شد به علت سبکی، بلافاصله به طرف بالا حرکت می‌کرد و در قسمت فوقانی بطری واژگون (یعنی در کف بطری) جمع می‌شد و در همان زمان به اندازه حجم هوای ورودی، آب از بطری خارج و درون سطل می‌ریخت. پس از حدود ۳۵ دقیقه، قطره چکان از درون بطری خارج و در حالی‌که دهانه بطری همچنان زیر سطح آب قرار داشت، درب بطری محکم بسته و از آب خارج می‌شد. حجم آب باقی مانده در بطری به‌وسیله یک استوانه مدرج ۱ لیتری که دقتش ±۱۰ میلی‌لیتر بود، اندازه گیری می‌شد. با کم کردن حجم آب باقی مانده در بطری از حجم بطری، حجم هوای خارج شده از قطره چکان به‌دست می‌آمد که با تقسیم آن بر زمان اندازه گیری، بده هوای خروجی از قطره چکان به‌دست می‌آمد.



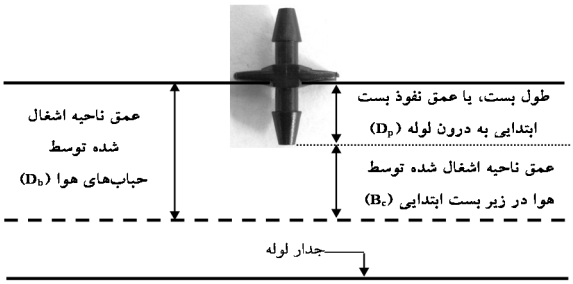
شکل ۱. سامانه اکسیژن-آبیاری و نحوه ارتباط اجزا آن با یکدیگر. W=مخزن آب، P= پمپ، T= شیر کنترل جریان آب، B= لوله برگشت آب، G= فشارسنج، ⋈ = ونتوری سرفکنتت، S= مخزن سرفکنتت، R= لوله رابط بین مخزن و ونتوری سرفکنتت، ⋈= ونتوری هوا، L_a= لوله آبده مجهز به قطره چکان های روی خط با فاصله نصب ۲۵ سانتی متر، ••• = ایستگاه اندازه گیری بده هوا شامل سه قطره چکان متوالی

شکل ۲. بست ابتدایی نامتقارن ۹/۵ میلی‌متری (الف)، متقارن ۹/۵ میلی‌متری (ب)، و متقارن ۷ میلی‌متری (ج)



(ب) (الف)

شکل ۳. تاثیر بست ابتدایی نامتقارن بر جریان دو فاز آب و هوا در لوله‌های آبیاری؛ (الف): ایجاد جریان آشفته در محل نصب بست ابتدایی، (ب): پراکنش حباب‌های هوا از اطراف بست ابتدایی (ج) به علت تلاطم حاصل از وجود عامل آشفته‌گر جریان (د).



شکل ٤. عوامل موثر بر دست‌رسی بست ابتدایی متقارن، به حباب‌های هوا در لوله آبیاری

نتایج و بحث

الف- بست ابتدایی نامتقارن ۹/۵ میلی‌متری (آزمایش ۱)

یافته های مربوط به بده هوای خروجی از قطره چکان ها و ضریب یکنواختی آن ها برای شرایط مختلف آزمایش در جدول ۲ درج شده است. ستون اول، شماره آزمایش و ستون دوم، نوع بست ابتدایی به کار رفته در آزمایش و طول آن (قسمتی از طول بست که در لوله آبده نفوذ کرده و با جریان آب و هوا در تماس است) را نشان می دهد. ستون های سوم تا دهم، بده هوای قطره چکان ها و ضریب یکنواختی مربوطه را برای چهار حالت مختلف نشان می دهند. این چهار حالت مربوط به "وجود یا عدم وجود عوامل موضعی آشفته گر جریان" و "استفاده یا عدم استفاده از سرفکتنت" می باشند. در شرایطی که از عوامل آشفته‌گر موضعی جریان استفاده نشده بود، میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها با و بدون سرفکتنت، به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۹۳ لیتر در ساعت و CUC مربوط به هر کدام به ترتیب ۳۷ و ۸۲٪- محاسبه شدند (جدول ۲). در حالتی‌که از عوامل آشفته‌گر موضعی جریان استفاده شده بود، متوسط بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها با و بدون سرفکتنت، به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۵۲ لیتر در ساعت و CUC مربوط به هر کدام به ترتیب ٤٨ و ٦٤٪- تعیین شدند. بدیهی است که منفی شدن CUC نشان دهنده غیر یکنواختی شدید می‌باشد. افزودن آشفته‌گر موضعی جریان یا سرفکتنت و یا استفاده توام از این دو عامل، همواره منجر به کاهش نسبی میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها و بهبود CUC مربوطه شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کم‌ترین تاثیرات یاد شده مربوط به زمانی است که فقط از عوامل آشفته‌گر موضعی جریان استفاده شده بود، و بیش‌ترین تغییرات مربوط به شرایطی بود که هر دو عامل به طور توام در سامانه آبیاری به‌کار رفته بودند (جدول ۲).

به‌طور کلی، هر گاه جسمی در مسیر سیالی قرار بگیرد، با توجه به سرعت حرکت و خصوصیات فیزیکی سیال، ابعاد، شکل هندسی و نحوه قرار گرفتن جسم در مسیر جریان، مقاومتی ایجاد می‌کند که باعث بروز آشفتگی در سیال می‌شود (McLester and St. Pierre, 2008). نمونه بارز چنین پدیده‌ای را می‌توان در تلاطم حاصل از برخورد جریان دوفاز آب و هوا با بست ابتدایی نامتقارن مشاهده کرد (شکل ۳، الف). در شکل مزبور، سیال دوفاز در حین برخورد با وجه بالادست بست ابتدایی، سرعتش کاسته و فشارش متناسب با آن (بر اساس اصل برنولی) افزایش می‌یابد. در قسمت پایین دست بست، خطوط جریان با سرعتی فزآینده و فشاری کمتر نسبت به شرایط بالادست بست، به حرکت خود ادامه می‌دهند. این اختلاف فشار در قسمت بالادست و پایین دست بست ابتدایی باعث بروز تلاطم در مجاورت بست می‌شود (Denny, 1993). حال، زمانی که یک آشفته‌گر موضعی جریان در فاصله بسیار کمی (مثلا، ۱۰ میلی‌متر) از یک بست ابتدایی متصل به قطره چکان روی لوله آبیاری نصب می‌شود، جریان متلاطمی که در مجاورت این آشفته‌گر ایجاد می‌شود با جریان متلاطم ناشی از وجود بست ابتدایی تداخل می کند. به‌نظر می‌رسد تداخل این دو جریان متلاطم باعث پراکنده شدن حباب‌های هوا از اطراف بست ابتدایی (شکل ۳، ب) و

کاهش دست‌رسی قطره چکان‌ها به هوا، بخصوص قطره چکان‌های مستقر در ابتدای لوله (جایی که سرعت جریان در مقایسه با انتهای لوله بیش‌تر است) می‌شود. این امر باعث خواهد شد که حباب های هوا مسافت بیش‌تری را طی نمایند و قطره چکان‌های مستقر در انتهای لوله آبیاری نیز دست‌رسی بیش‌تری به هوا پیدا کنند که به نوبه خود منجر به افزایش CUC بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها می‌شود. علاوه بر این، انرژی سینتیک موجود در جریان آشفته در مجاورت بست‌های ابتدایی نیز باعث شکسته شدن حباب‌های بزرگ[9] و تشکیل حباب‌های کوچک در اطراف قطره چکان‌ها می‌شود که نهایتا باعث کاهش میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان می‌گردد.

ب- بست ابتدایی متقارن ۹/۵ میلی‌متری (آزمایش ۲)

در این آزمایش، شرایط عینا مانند آزمایش ۱ بود با این تفاوت که برخلاف آزمایش ۱ که از بست های ابتدایی نامتقارن استفاده شده بود، این آزمایش در حضور بست هایی با همان طول ولی از نوع متفارن انجام شد. در شرایطی که از عوامل آشفته‌گر موضعی جریان استفاده نشده بود، میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها با و بدون سرفکتنت، به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۱۷ لیتر در ساعت و CUC مربوط به هر کدام به ترتیب ۲۳ و ۱٪ محاسبه شدند (جدول ۲). در حالتی‌که از عوامل آشفته‌گر موضعی جریان استفاده شده بود، متوسط بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها با و بدون سرفکتنت، به ترتیب ۰/۱٦ و ۰/۰٤ لیتر در ساعت و CUC مربوط به هر کدام به ترتیب ۵۳ و ۱۸٪ تعیین شدند. نتایج بدست آمده از آزمایش (۲) نشان می‌دهند که در غیاب سرفکتنت و یا عوامل آشفته‌گر موضعی جریان، میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها به نحو قابل ملاحظه‌ای کوچک‌تر و CUC مربوطه نسبتا بزرگ‌تر از مقادیر متناظر در آزمایش (۱) می‌باشند. همان‌گونه که در قسمت پیشین هم اشاره شد، شکل هندسی نامنظم بست‌های ابتدایی نامتقارن سبب می‌شود تا نیروی کششی[10] نسبتا بزرگی در مجاورت این نوع بست‌ها ایجاد شود. همین عامل باعث می‌شود که بست‌های ابتدایی نامتقارن در مقایسه با بست‌های ابتدایی متقارن، که شکل هندسی منظم‌تری دارند، دست‌رسی بیش‌تری به حباب‌های هوا داشته باشند (Torabi *et al.*, 2013). البته، چون بست‌های ابتدایی نامتقارن مستقر در نزدیکی ونتوری در مقایسه با آن‌هایی که در فاصله دورتری واقع شده‌اند، دست‌رسی بیش‌تری به حباب‌های هوا دارند، همین امر موجب کوچک‌تر بودن CUC در این نوع بست‌ها می‌باشد. همانند آزمایش (۱)، در این آزمایش نیز پراکنش حباب‌های هوا به‌وسیله‌ی عوامل آشفته‌گر موضعی جریان، موجب بهبود CUC شد.

تحقیقاتی که تاکنون در باره اثرات سرفکتنت بر جریان‌های دو فاز متشکل از آب و هوا انجام شده است نشان می‌دهد که افزودن سرفکتنت به آب، منجر به کاهش قابل ملاحظه سرعت صعود حباب‌های هوا می‌شود (Takagi *et al.*, 2008) و از ادغام[11] حباب‌های کوچک در یکدیگر نیز جلوگیری می‌کند (Lee *et al.*, 2005). شدت این تاثیرات بستگی به غلظت و نوع سرفکتنت دارد. از این یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت در آب عاری از سرفکتنت، به علت تمایل بیش‌تر حباب‌های هوا به ادغام در یکدیگر و تشکیل حباب‌هایی با قطر نسبتا بزرگ‌تر، توده حباب‌های هوا غالبا در بخش فوقانی لوله آبیاری حرکت می‌کنند (Sankey *et al.*, 2009). برخلاف حالت مذکور، افزودن سرفکتنت به آب موجب کوچک‌تر شدن قطر حباب‌های هوا، ممانعت از ادغام آن‌ها در یکدیگر و کاهش سرعت صعود حباب‌های هوا و در نتیجه توزیع یکنواخت‌تر آن‌ها در مقطع عرضی لوله می‌شود (McNulty, 1986). به همین دلایل، در آزمایش (۲)، افزودن سرفکتنت به آب باعث افزایش دست‌رسی قطره

[9] - Bubble breakage

[10] - Pressure Drag

[11] - Coalescence

چکان‌های مستقر در انتهای لوله آبیاری به حباب‌های هوا و در نتیجه بهبود یکنواختی توزیع بده هوای قطره چکان‌ها شده است.

ج- بست ابتدایی متقارن ۷ میلی‌متری (آزمایش ۳)

همان گونه که از جدول ۲ دیده می شود، در این آزمایش که از بست های ابتدایی نوع متقارن با طول نسبتا کوتاه ۷ میلی متری (ستون دوم) استفاده شده بود، صرفا تاثیر وجود یا عدم وجود سرفکتنت بر بده هوای قطره چکان ها و ضریب یکنواختی مربوطه (داده های مندرج در ستون های سوم تا ششم) بررسی شده است. میانگین بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها در شرایط با و بدون سرفکتنت، به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/٤۱ لیتر در ساعت محاسبه شد (جدول ۲). مقادیر CUC برای شرایط مذکور به ترتیب ۳۹ و ٤۱٪- تعیین شد. نکته قابل توجهی که می‌توان به آن اشاره کرد این است که در این آزمایش، بده هوای خروجی اندازه‌گیری شده از قطره چکان‌ها در غیاب سرفکتنت، تقریبا ۲/۵ برابر مقدار متناظر در آزمایش (۲) که از بست‌های ۹/۵ میلی‌متری استفاده شده بود، می‌باشد (جدول ۲). دلیل این تفاوت را می‌توان به اختلاف طول بست‌های ابتدایی در این دو آزمایش نسبت داد. اگرچه، در هر دو آزمایش بست‌های ابتدایی از نوع متقارن بوده‌اند، اما بست‌های استفاده شده در آزمایش (۳) به میزان ۲/۵ میلی‌متر کوتاه‌تر از بست‌های به‌کار رفته در آزمایش (۲) بوده‌اند. برای درک بهتر این قضیه، لازم است به نحوه عملکرد بست‌های ابتدایی متقارن در سامانه اکسیژن-آبیاری اشاره‌ای شود. در یک مدت زمان معین و به ازای برقراری یک اختلاف فشار مشخص در دو سر یک ونتوری، حجم معینی از هوا به درون سامانه اکسیژن-آبیاری وارد می‌شود. در یک لوله آبیاری با قطر مشخص، هوای وارد شده به سامانه ضمن جمع شدن در بخش فوقانی لوله، ناحیه‌ای به عمق معین را اشغال می‌کند. شکل (٤)، بخشی از مقطع طولی یک لوله آبیاری با یک بست ابتدایی متقارن را نشان می‌دهد. هم‌چنان‌که در شکل دیده می‌شود، اولا، شرط تحویل هوا از بست ابتدایی به قطره چکان آن است که منفذ بست ابتدایی، در منطقه تحت اشغال هوا قرار داشته باشد (یعنی $B_c = D_b - D_p > 0$). ثانیا، هر اندازه طول بیش‌تری از بست ابتدایی در منطقه تحت اشغال هوا واقع شده باشد، بالطبع هوای بیش‌تری نیز برای قطره چکان در دست‌رس خواهد بود. بنابراین با توجه به شکل (٤)، در هر نقطه از طول یک لوله آبیاری و با فرض یکسان بودن مقدار D_b، چون مقدار D_p برای یک بست ابتدایی ۷ میلی‌متری کوچک‌تر از مقدار متناظر برای بست ابتدایی ۹/۵ میلی‌متری می‌باشد، بنابراین مقدار B_c برای بست ابتدایی کوتاه‌تر، بزرگ‌تر از مقدار متناظر برای یک بست بلندتر خواهد بود که در نتیجه، هوای نسبتا بیش‌تری در دست‌رس بست کوتاه‌تر قرار خواهد گرفت.

صرف‌نظر از نوع و طول بست ابتدایی، نتیجه مشترکی که در هر سه آزمایش به‌روشنی دیده می‌شود این است که همواره با اضافه شدن سرفکتنت به آب آبیاری، یکنواختی توزیع بده هوای قطره چکان‌ها (CUC) به‌نحو قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد (جدول ۲). علت این تغییر بسیار مهم را می‌توان با تاثیر سرفکتنت بر کشش سطحی آب توضیح داد. کشش سطحی آب رابطه مستقیمی با قطر حباب هوا دارد، با افزودن سرفکتنت به آب تهویه شده، کشش سطحی آب کاهش و در نتیجه قطر حباب هوا هم متناسب با آن کوچک‌تر خواهد شد (Graebel, 2001). با توجه به ثابت بودن بده تزریق هوا به سامانه آبیاری و استناد به قانون بقای جرم، افزودن سرفکتنت به آب منجر به کاهش قطر حباب‌های هوا و در نتیجه افزایش تعداد آن‌ها شده است. این امر باعث می‌شود که حباب‌های هوا بتوانند مسافت بیش‌تری را در طول لوله آبیاری طی نمایند و در نتیجه با افزایش دست‌رسی قطره چکان‌های واقع در انتهای لوله به هوا، مقدار CUC بده هوای قطره چکان‌ها افزایش یابد. نتایج بدست آمده از این آزمایش در مورد کاهش قطر حباب‌های هوا و افزایش تعداد آن‌ها در پی افزودن سرفکتنت به آب، با مشاهدات گزارش شده

به‌وسیله‌ی Rozenblit و همکاران (۲۰۰۶) کاملا مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در غیاب سرفکتنت، استفاده از بست‌های نامتقارن در سامانه‌های اکسیژن-آبیاری منجر به بروز بیشترین غیریکنواختی در توزیع بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها می‌شود. همچنین، نه تنها شکل هندسی بست ابتدایی، بلکه طول بست هم بر عملکرد قطره چکان از نظر بده هوای خروجی موثر می‌باشد. در سامانه های اکسیژن-آبیاری، استفاده از بست‌های نامتقارن در مقایسه با نوع متقارن منجر به افزایش نسبی بده هوا و کاهش CUC مربوطه می‌شود. از سوی دیگر، در مورد بست‌های متقارن، هر چه طول بست کوتاه‌تر باشد، بده هوا نسبتا بیش‌تر و CUC مربوطه کم‌تر خواهد بود. اگرچه، استفاده از عوامل موضعی آشفته‌گر جریان باعث بهبود CUC می‌شود، اما افزودن سرفکتنت به آب به مراتب موثرتر از عوامل مکانیکی خواهد بود. توصیه می‌شود در تحقیقات آینده، به منظور بهبود هرچه بیش‌تر یکنواختی توزیع بده هوای خروجی از قطره چکان‌ها، ترکیبات مختلفی از سرفکتنت‌های غیر یونی (یا مخلوطی از دو سرفکتنت مختلف) مورد بررسی و تحقیق قرار گیرند. نکات مهمی که در انتخاب سرفکتنت‌ها بایستی در نظر گرفته شوند عبارتند از حلالیت بالا در آب، سمیت ناچیز برای گیاهان، حیوانات و انسان، قابلیت بازیافت با کارآیی بالا، کم هزینه بودن، و قابلیت زیست‌تجزیه‌پذیری با سرعت زیاد.

فهرست منابع

Aguilar, E.A., Turner, D.W., Gibbs, D.J., Armstrong, W. and Sivasithamparam, K. 2003. Oxygen distribution and movement, respiration and nutrients loading in banana (Musa spp. L.) subjected to aerated and oxygen-depleted environments. Plant and Soil, 253: 91-102.

Bhattarai, S.P., Midmore, D.J. and Pendergast, L. 2008. Yield, water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea, and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygation treatments in vertisols. Irrigation Science, 26, 439-450.

Bhattarai, S.P. and Midmore, D.J. 2009. Oxygation enhances growth, gas exchange and salt tolerance of vegetable soybean and cotton in a saline Vertisol. Journal of Integrative Plant Biology, 51 (7): 675–688.

Bhattarai, S.P., Su, N. and Midmore, D.J. 2005. Oxygation unlocks yield potentials of crops in oxygen-limited soil environments. Advances in Agronomy, 88: 313-377.

Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Annals of Botany, 91: 179-194.

Brumbaugh, E.H. and Petersen, M. 2001. The use of a non-ionic surfactant to alleviate the effects of compacted soil on corn (Zea Mays) yield and root growth. Available online at: http://www.hlboustead.com/ag/symposium_overview.pdf. Accessed 20 April 2013.

Denny, M.W. 1993. Air and Water: The Biology and Physics of Life's Media. Princeton University Press, New Jersey, 341 pp.

Essah, S.Y.C., Delgado, J.A. and Davidson, R.D. 2009. Air injection and potato performance under subsurface drip irrigation. Annual Meetings Abstract, ASA-CSSA-SSSA 2009 International Annual Meetings on Footprints in the Landscape: Sustainability through Plant and Soil Sciences, Pittsburgh.

Goorahoo, D., Adhikari, D., Zoldoske, D., Mazzei, A. and Fanucchi, R. 2007. Application of AirJection® Irrigation to cropping systems in California. Available online at: http://www.icwt.net/conference/Irrigation/Session%20E/Dave%20G.pdf. Accessed 19 Feb 2010.

Goorahoo, D., Adhikari, D., Zoldoske, D., Mazzei, A. and Fanucchi, R. 2006. Effect of AirJection™ irrigation on crop yield and soil properties. Available online at: http://a-c-s.confex.com/crops/2006am/techprogram/P25053.HTM. Accessed 20 August 2011.

Goorahoo, D., Carstensen, G., Zoldoske, D.F., Norum, E. and Mazzei, A. 2002. Using air in subsurface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell peppers. International Water and Irrigation, 22 (2): 39-42.

Graebel, W.P. 2001. Engineering fluid mechanics. Taylor & Francis, New York, 752 pp.

Hassanzadeh Mobini, S., Ismail, M.Z. and Arouiee, H. 2009. Influence of ventilation and media on potato (Solanum tuberosum L.) tuberization and its growth characteristics. African Journal of Biotechnology, 8 (10): 2232-2241.

Howell, T.A. 2003. Irrigation efficiency. p. 467-472. In B.A. Stewart and A.T. Howell, (ed.) Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker Inc, New York.

Porter, M. R. 1990. Recent developments in the technology of surfactants. Elsevier Applied Science, London, 203 pp.

Rosen, M.J. and Kunjappu, J.T. 2012. Surfactants and interfacial phenomena. John Wiley & Sons, New Jersey, 616 pp.

Rozenblit, R., Gurevich, M., Lengel, Y. and Hetsroni, G. 2006. Flow patterns and heat transfer in vertical upward air-water flow with surfactant. International Journal of Multiphase Flow, 23: 889-901.

Sankey, M., Yang, Z., Gladden, L., Johns, M.L., Lister, D. and Newling, B. 2009. Sprite MRI of bubbly flow in a horizontal pipe. Journal of Magnetic Resonance, 199: 126-135.

Su, N. and Midmore, D.J. 2005. Two-phase flow of water and air during aerated subsurface drip irrigation. Journal of Hydrology, 313: 158-165.

Takagi, S., Ogasawara, T. and Matsumoto, Y. 2008. The effects of surfactant on the multiscale structure of bubbly flows. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 366 (1873): 2117-2129.

Torabi, M., Midmore, D.J., Walsh, K.B., Bhattarai, S.P. and Tait, L. 2013. Analysis of factors affecting the availability of air bubbles to subsurface drip irrigation emitters during oxygation. Irrigation Science, 31: 621-630.

Visser, E.J. W., Voesenek, L.A. C.J., Vartapetian, B.B. and Jackson, M.B. 2003. Flooding and plant growth. Annals of Botany, 91: 107-109.Walker, W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE) 131: 129-136.

Lee, J., Kentish, S.E. and Ashokkumar, M. 2005. The effect of surface-active solutes on bubble coalescence in the presence of ultrasound. The Journal of Physical Chemistry B, 109 (11): 5095-5099.

Madsen, M.D., Kostka, S.J., Inouye, A.L. and Zvirzdin, D.L. 2012. Postfire restoration of soil hydrology and wildland vegetation using surfactant seed coating technology. Rangeland Ecology & Management, 65(3):253-259.

McLester, J. and St. Pierre, P. 2008. Applied Biomechanics: Concepts and Connections. Cengage Learning, Florence, KY, 432 pp.

McNulty, A.J. 1986. Oxygen uptake in sewerage pipelines. Available online at: http://mech.eng.unimelb.edu.au/people/staffresearch/AFMS%20site/9/McNulty.pdf. Accessed 5 Dec 2010.

Mulligan, C.N., Yong, R.N. and Gibbs, B.F. 2001. Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review. Engineering Geology, 60: 371-380.

Niu, W.Q., Zang, X., Jia, Z.X. and Shao, H.B. 2012. Effects of Rhizosphere ventilation on soil enzyme activities of potted tomato under different soil water stress. Clean – Soil, Air, Water, 40 (3): 225-232.

Pendergast, L. and Midmore, D.J. 2006. Oxygation: Enhanced root function, yields and water use efficiencies through aerated subsurface drip irrigation, with a focus on cotton. Proc., 13th Australian Society of Agronomy Conference, Perth.

ISSN 2251-7480

Improving the distribution uniformity of air flow rates from emitters in oxygenation systems

Manouchehr Torabi [1*], David J. Midmore [2], Kerry B. Walsh [3] and Surya P. Bhattarai [4]

1*) Academic member, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, P.O. Box: 81785-199
Corresponding author email: mctorabi@yahoo.com
2) Professor at Centre for Plant and Water Sciences, Central Queensland University, Australia; Professor at Central Queensland University, Australia; Research fellow and senior lecturer at Central Queensland University, Australia
3) Professor at Central Queensland University, Australia; Research fellow and senior lecturer at Central Queensland University, Australia
4) Professor at Centre for Plant and Water Sciences, Central Queensland University, Australia; Professor at Central Queensland University, Australia; Research fellow and senior lecturer at Central Queensland University, Australia

Received: 21-06-2013 Accepted: 02-07-2014

Abstract

Research carried out so far indicates that oxygenation is capable of effectively increasing crop yield because of supplying sufficient oxygen in the rhizosphere. However, the severe non-uniformity associated with the distribution of emitter air flow rates along laterals is a major deficiency. This research explored the effect of individual and/or concurrent use of surfactant with a final concentration of 32 ppm to irrigation water and/or insertion of turbulence-inducer sealing plugs preceding connectors on the uniformity of emitter air flow rate distribution. The results indicated that addition of surfactant raised the CUC of the emitter air flow rates from -83% to 37% for the asymmetric connectors and from 1% to 23% for the symmetric connectors, respectively, over the controls without surfactant. Addition of surfactant to oxygenation systems with symmetric connectors of 9.5 and 7 mm long led to a rise in CUC from 1% to 23%, and from -41% to 39%, respectively. Compared to aerated water without surfactant or sealing plugs, concurrent use of surfactant and turbulent-inducer sealing plugs in oxygenation systems with symmetric and asymmetric connectors caused a rise in the CUC of air bubble deliveries from -82% to 48%, and from 1% to 53%, respectively.

Keywords: air bubble; Christiansen uniformity coefficient; oxygenation; surfactant