

شورزدایی با استفاده از سیستم آبیاری چگالشی

(مطالعه موردی: مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز)

باقر یوسفی^۱

سعید برومند نسب^۲

(دریافت ۹۲/۱/۲۵)

(پذیرش ۹۳/۱/۱۷)

چکیده

آبیاری چگالشی، ترکیبی از نمک زدایی و آبیاری-تولید آب آشامیدنی به‌طور همزمان است. با تبخیر آب شور در دستگاه تقطیر و انتقال هوای گرم و مرطوب به درون سیستم لوله‌های زیرزمینی، هوای گرم و مرطوب با دادن گرمای خود به زمین، باعث شیرین شدن آب در دیواره داخلی لوله چگالشی می‌شود. با استفاده از لوله‌های زهکشی در زمین، برای انتقال هوای مرطوب به‌علت وجود سوراخ‌هایی در لوله، آب چگالشی یافته به درون خاک نفوذ می‌کند. در این مطالعه سیستم آبیاری چگالشی با هدف تعیین مقدار آب آشامیدنی تولید شده با استفاده از لوله‌های معمولی دفن شده، استفاده شد. در این پژوهش آب چگالشی یافته در انتهای لوله جمع‌آوری و برای آشامیدن استفاده شد. پس از انجام محاسبات و مشاهده نتایج به‌دست آمده، معلوم شد که متوسط ظرفیت تولید آب، ۴ لیتر در ۸ ساعت در طول ۲۵ متر طول لوله بود که در روز اول به‌دلیل خیس کردن جدار داخلی لوله، کمتر از این مقدار بود. همچنین با بررسی دما در طول لوله، می‌توان گفت که با دور شدن از ابتدای لوله، تولید آب آشامیدنی نیز کمتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آب غیر متعارف، آبیاری چگالشی، آب آشامیدنی، نمک‌زدایی، هوای مرطوب

Desalination Using the Condensation Irrigation System (A Case Study of the Research Farm of Shahid Chamran University of Ahvaz)

B. Yousefi¹

S. Boroomand Nasab²

(Received Apr. 14, 2013

Accepted Apr. 6, 2014)

Abstract

Condensation Irrigation (CI) is a combination of simultaneous desalination and irrigation/drinking water production. As saline water evaporates in a solar distiller and the hot and humid air is transferred into an underground pipeline, fresh water will condense on the inner pipe surface due to cooling of air by the ground. The water thus condensed infiltrates into the soil through pores in the perforated drainage pipes laid in the ground to transfer the humidified air. In this study, the CI system was developed using common buried pipes to determine the amount of water produced. In this setup, condensed water is collected at the end of the pipe to be used for drinking. Observations and calculations indicated a mean water production capacity of 4 liters every 8 hours along a pipe 25m long. Less water was produced on the first day because some of the water was lost to the wetting of the internal pipe walls. Finally, examination of temperature effects revealed that water production along the pipe reduces as we move farther away from the inlet part of the pipe.

Keywords: Unconventional Water, Condensation Irrigation, Drinking Water, Desalination, Humid Air.

1. PhD Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz (Corresponding Author) 09171901293 Bagher.yousefi@gmail.com

2. Prof. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University, Ahvaz

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز (نویسنده مسئول) ۰۹۱۷۱۹۰۱۲۹۳ Bagher.yousefi@gmail.com

۲- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

آب شور در سیستم آبیاری چگالشی توسط انرژی حاصل از تابش خورشیدی بخار می‌شود و هوای درون دستگاه تقطیر را مرطوب و به حد اشباع می‌رساند. سپس این هوای گرم و مرطوب به سیستم لوله‌های زیرزمینی منتقل می‌شود و در آنجا گرمای خود را از دست می‌دهد و آب چگالش می‌یابد. این آب چگالش یافته را می‌توان در انتهای لوله‌ها جمع‌آوری و استفاده کرد [۵]. در صورتی که از لوله‌های زهکشی استفاده شود این آب تولیدی وارد خاک شده و عمل آبیاری را انجام می‌دهد [۵].

تاکنون مطالعات و پژوهش‌های چندانی در مورد سیستم CI انجام نشده است. ویچ‌گرن در سال ۱۹۸۶، مطالعات نظری خود را روی سیستم آبیاری چگالشی انجام داد و زمینی به مساحت یک هکتار را با استفاده از بخار حاصل از تبخیر آب شور و چگالش آن در لوله‌های زیرزمینی آبیاری کرد [۶]. نوردل در سال ۱۹۸۷، روش CI را در مقیاس کوچک برای کشت خیار سبز در گلخانه آماده کرد [۷]. همچنین در مطالعات وابسته یک شرکت سوئیسی^۶ آب دریا را در لوله‌های پلاستیکی بخار کرد و به درون لوله‌های زهکشی منتقل کرد و عمل آبیاری را انجام داد [۸]. همچنین گوستافسون و همکاران در سال ۲۰۰۱، با پیاده کردن سیستم آبیاری چگالشی در ترکیه و پیش‌بینی‌های اقتصادی نشان دادند که این روش پتانسیل رقابت با روش‌های آبیاری سنتی را داراست [۹]. همچنین لیندبلوم در سال ۲۰۰۶، در طرحی آزمایشی نشان داد که در هر روز ۱/۸ کیلوگرم آب آشامیدنی در هر متر لوله، تولید می‌شود [۱۰]. لیندبلوم و همکاران در سال ۲۰۰۷، با اجرای سیستم آبیاری چگالشی به این نتیجه دست یافتند که آب تولیدی این سیستم، زمانی که برای آبیاری استفاده می‌شود در مقایسه با زمانی که سیستم CI در تولید آب آشامیدنی استفاده می‌شود، در حدود ۷۰ درصد بیشتر است [۱۱]. این سیستم توجه برخی از کشورهای شمال آفریقا را نیز به خود جلب کرده است. طرح‌های آزمایشی، اکنون در تونس و الجزایر در حال اجرا است.

با توجه به مطالعات گذشته هدف از این تحقیق به دست آوردن آب شیرین از آب شور بود.

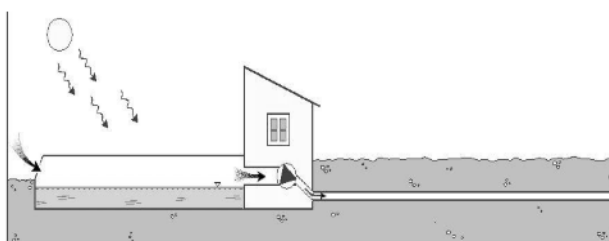
۲- مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی شماره ۱ دانشگاه شهید چمران اهواز، با همکاری گروه آبیاری و زهکشی در زمستان ۱۳۹۰ انجام شد.

در اولین قدم برای اجرای این آزمایش، سه کانال موازی به طول ۲۵ متر و عمق ۴۰ سانتی متر حفر شد. سپس سه لوله معمولی با قطر

با شروع انقلاب سبز^۱ در سال ۱۹۶۰، استفاده وسیع از کود، توسعه آبیاری و معرفی محصولات با عملکرد بیشتر، قحطی جهانی را در قرن اخیر از بین برد [۱]. با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت منابع آب تا سال ۲۰۲۵، بسیاری از کشورها با کمبود آب مواجه خواهند شد و رقابت برای آب شیرین افزایش می‌یابد [۲]. از طرفی افزایش جمعیت، افزایش تقاضا برای غذا را به دنبال خواهد داشت که نشان می‌دهد تولیدات کشاورزی باید با سرعتی برابر با رشد جمعیت، ولی با همان زمین‌ها و منابع آب ثابت، رشد کنند. به هر حال موفقیت‌های گذشته انقلاب سبز، به راحتی تکرار نخواهد شد. مناطقی که از تکنولوژی انقلاب سبز فایده بردند همه حاصلخیز و سرشار از آب شیرین بودند. از طرفی استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر، از قبیل آب شور و یا هرزآب‌ها در آبیاری، باعث کاهش شدید در عملکرد محصول و عوارض دیگر در خاک خواهد شد. با این تفاسیر، تنها راه مناسب برای تولید بیشتر آب شیرین، استفاده از آب‌های نامتعارف و شیرین کردن آنها با استفاده از مکانیسم‌های مختلف است [۳].

هر روز ۲۳ میلیون متر مکعب آب شیرین از آب دریا، با اسمز معکوس^۲، فلش چند مرحله‌ای^۳ و تقطیر چند مرحله‌ای^۴ تولید می‌شود که اکثر این تأسیسات به وسیله سوخت‌های فسیلی و فقط ۰/۰۲ درصد از آنها با انرژی‌های تجدیدشونده کار می‌کنند [۲]. با نگاهی به آینده و کمبود سوخت‌های فسیلی، بهتر است نمک‌زدایی با انرژی‌های تجدیدشونده صورت پذیرد. آبیاری چگالشی^۵ یک روش توسعه یافته نوین است که برای این نیازها معرفی شده است. در این روش با استفاده از انرژی حاصل از تابش خورشید، آب شیرین از آب‌های نامتعارف حاصل می‌شود و به‌طور مستقیم به ناحیه ریشه منتقل می‌شود که از افزایش نمک در خاک جلوگیری می‌کند. در نتیجه به وسیله آبیاری چگالشی، آب‌های آلوده یا شور را می‌توان منبع جدیدی از آب‌های شیرین در نظر گرفت. نمای کلی سیستم آبیاری چگالشی در شکل ۱ دیده می‌شود [۴].



شکل ۱- نمای کلی سیستم آبیاری چگالشی [۴]

¹ Green Revolution
² Reverse Osmosis
³ Multi Stage Flash
⁴ Multi effect distillation
⁵ Condensation Irrigation (CI)

⁶ Ingenieurbüro Ruess und Hausherr

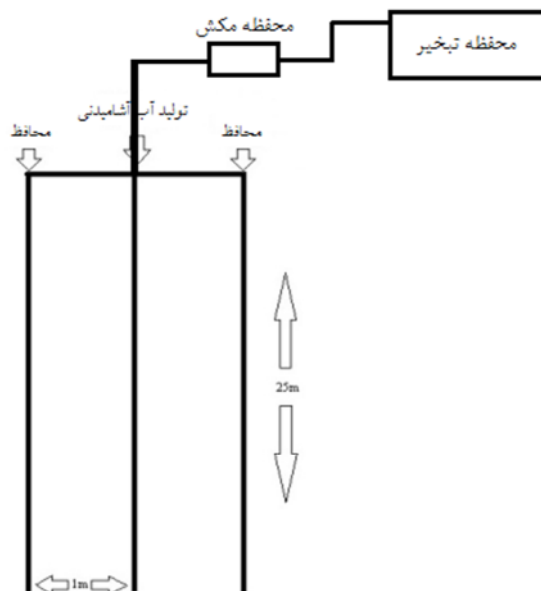
پوشش داده شد. سپس فضای بالای مخزن با یک لوله عایق شده به مخزن مکش متصل شد. درون مخزن یک پنکه با قدرت ۱۶ وات نصب شده بود که وظیفه آن به جریان درآوردن هوا از روی مخزن تقطیر و انتقال آن به درون لوله‌های حفر شده بود.



شکل ۴- آماده‌سازی مخزن دستگاه تقطیر و قسمت مکش دستگاه

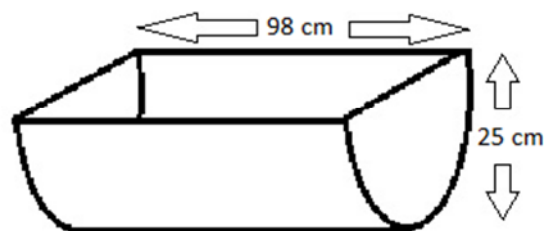
زمانی که کلیه تجهیزات نصب شدند، آب شور در مخزن دستگاه تا ۷۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد و سعی شد که این دما در طول آزمایش ثابت باقی بماند. در عمل این کار توسط یک عدد گرمکن انجام می‌گرفت که به محض رسیدن دمای آب به ۷۰ درجه سلسیوس به صورت خودکار خاموش می‌شد؛ زیرا اگر دمای آب در مخزن دستگاه تقطیر از ۷۰ درجه سلسیوس بالاتر می‌رفت، خاک توانایی سرد کردن بخار حاصل را نداشت [۵]. سپس جریان هوا با نیروی مکش در پشت پنکه، روی آب شور در دستگاه تقطیر برقرار شد و ضمن عبور، از بخار آب اشباع شد. سپس این هوای گرم و مرطوب به مدت هشت ساعت به درون لوله‌های دفن شده در عمق ۴۰ سانتی متری خاک منتقل شد که با از دست دادن گرمای خود، رطوبت موجود، به صورت قطرات ریز آب در دیواره داخلی لوله چگالش یافت. این آب چگالش یافته در انتهای لوله جمع‌آوری و با آب آشامیدنی محاسبه شده از طریق تئوری، مقایسه شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری‌ها فقط در ورودی و خروجی لوله میانی صورت می‌گرفت، که شامل سرعت هوا، رطوبت و دما بود.

۶۳ میلی‌متر و از جنس UPVC یا شیبی کم، در این کانال‌ها قرار داده شد و با خاک مزرعه که بافت لومی داشت پوشش داده شدند. لازم به ذکر است که لوله‌های کناری نصب شدند تا آزمایش در محیطی کنترل شده انجام گیرد (شکل ۲).



شکل ۲- طرح کلی سیستم آزمایشی

مخزن دستگاه تقطیر، حجم آبی برابر ۸۰ لیتر آب شور دریا داشت که برای داشتن بیشترین سطح تماس با هوا به صورت نیم‌استوانه ساخته شد و اطراف آن با پشم و شیشه عایق‌بندی شد تا کمترین اتلاف گرمایی صورت گیرد (شکل ۳).

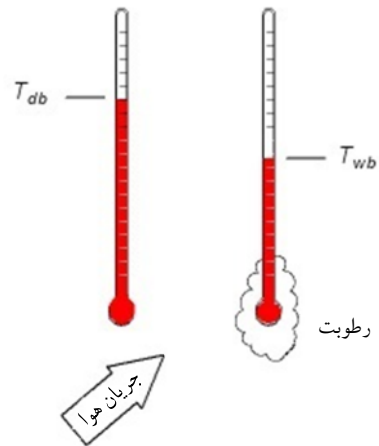


شکل ۳- ابعاد مخزن استفاده شده

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود پوششی از یک نایلون دولایه‌ای بر روی آن قرار داده شد. این پوشش پلاستیکی نصب شد تا بتوان از انرژی خورشیدی نیز برای گرم کردن آب درون مخزن استفاده کرد. در اینجا به دلیل در دسترس نبودن سلول‌های خورشیدی و تجهیزات خاص از برق برای گرم کردن آب در کنار تشعشع خورشید استفاده شد. در پایان، اطراف مخزن با خاک مزرعه

۱-۲- اندازه‌گیری رطوبت هوای ورودی و خروجی

رطوبت هوا را می‌توان با اندازه‌گیری دمای دماسنج خشک^۱ و دمای دماسنج تر^۲ تخمین زد. دمای دماسنج خشک را می‌توان با یک دماسنج ساده مانند آنچه در شکل ۵ پیداست اندازه‌گیری کرد. دمای دماسنج تر را می‌توان با یک دماسنج استاندارد که اطراف حباب آن با پارچه‌ای خیس از جنس کتان یا شبیه آن پوشیده شده است، به دست آورد. نکته مهمی که باید به آن توجه شود این است که تا وقتی جریان هوا ادامه دارد از پارچه خیس باید تبخیر صورت گیرد تا بتوان به دمای تر پذیرفتنی دست یافت. رطوبت نسبی^۳ را می‌توان با استفاده از جدول ۱ تخمین زد.



شکل ۵- دماسنج تر و خشک [۱۲]

جدول ۱- اندازه‌گیری رطوبت نسبی با استفاده از دمای تر و خشک [۱۲]

رطوبت نسبی (درصد)											
اختلاف دمایی بین دماسنج تر و خشک (درجه سلسیوس)	دمای دماسنج خشک (درجه سلسیوس)										
	۱۵	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۷	۳۰	۳۳			
۱	۹۰	۹۱	۹۱	۹۲	۹۲	۹۲	۹۳	۹۳			
۲	۸۰	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۵	۸۶	۸۷			
۳	۷۱	۷۳	۷۵	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰			
۴	۶۲	۶۵	۶۷	۶۸	۷۰	۷۱	۷۳	۷۴			
۵	۵۳	۵۷	۵۹	۶۱	۶۴	۶۵	۶۷	۶۹			
۶	۴۴	۴۹	۵۲	۵۴	۵۷	۵۹	۶۱	۶۳			
۷	۳۶	۴۲	۴۵	۴۷	۵۱	۵۳	۵۵	۵۸			
۸	۲۸	۳۴	۳۸	۴۱	۴۵	۴۷	۵۰	۵۳			
۹	۲۱	۲۷	۳۱	۳۴	۳۹	۴۱	۴۵	۴۸			
۱۰	۱۳	۲۰	۲۵	۲۸	۳۳	۳۶	۴۰	۴۳			

^۱ Tdb
^۲ Twb
^۳ RH

۲-۲- اندازه‌گیری سرعت ورودی و خروجی لوله

برای اندازه‌گیری سرعت هوا از لوله پیتوت مخصوص با دقت ۰.۱ متر بر ثانیه استفاده شد (شکل ۶). لوله پیتوت از سوراخی که در ابتدای لوله ایجاد شده بود وارد جریان هوای مرطوب می‌شد و در نمایشگر عقربه‌ای که در بالای لوله پیتوت قرار داشت، سرعت قابل مشاهده بود.



شکل ۶- لوله پیتوت مخصوص اندازه‌گیری سرعت جریان هوا

۳-۲- اندازه‌گیری دمای سطح لوله

دما در سطح لوله نیز اندازه‌گیری شد که این کار توسط سامانه IDRG SMS-T1 که سامانه اتوماتیکی برای اندازه‌گیری و ثبت رطوبت و دمای خاک است، انجام شد. سامانه IDRG دارای پروب‌های قابل دفنی است که می‌توان آن‌ها را در عمق خاک برای مدتی طولانی کار گذاشت و دما و رطوبت را در طول آزمایش به دست آورد. از این سامانه در این مطالعه، فقط برای اندازه‌گیری دما استفاده شد. این سامانه دارای یک دیتالاگر که قابلیت اتصال به کامپیوتر را دارد و یک نمایشگر که دما از روی آن، مستقیماً قابل مشاهده است، می‌باشد (شکل‌های ۷ و ۸).

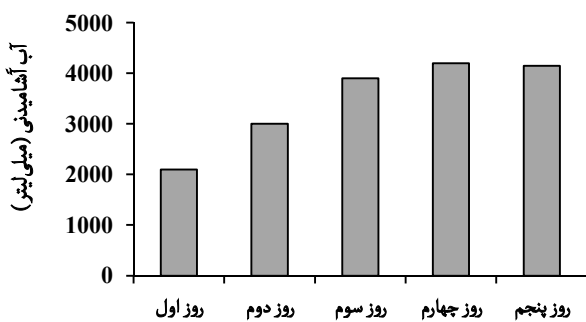


شکل ۷- دیتالاگر و اجزای آن

بخار آب اشباع شده است. فشار کل مخلوط گاز، جمع فشارهای جزئی هوا و آب است. در شرایطی که فشار کل مخلوط در داخل و بیرون لوله‌های دفن شده، نرمال باشد، رطوبت مخصوص از رابطه ۲ به ترتیب در ۷۰ درجه سلسیوس برابر ۰/۲۷۵۰۴ کیلوگرم آب در هر کیلوگرم هوای خشک و در ۴۰ درجه سلسیوس برابر ۰/۴۸۶۹ کیلوگرم آب در هر کیلوگرم هوای خشک به دست می‌آید. برای مثال چنانچه ۰/۱۵۰ کیلوگرم هوای مرطوب در هر ثانیه در یک لوله جریان داشته باشد و سرعت چگالش، ۰/۲۷ کیلوگرم آب در ثانیه باشد و این جریان توده و سرعت چگالش در طول ۱۰۰ متر لوله رخ دهد، می‌توان با آن ۲ متر مربع در متر لوله را در مدت ۱۰ ساعت آبیاری کرد [۵ و ۶].

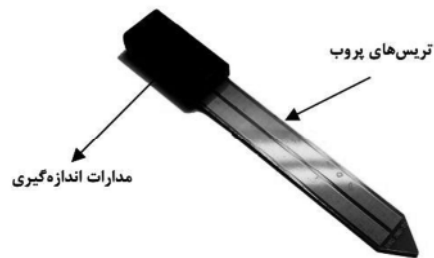
۳- نتایج و بحث

در این قسمت مقایسه‌ای بین حجم آب تولید شده از تئوری و آزمایش انجام شد. مقدار آب آشامیدنی تولید شده از انتهای لوله در این آزمایش جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد که نتایج در شکل ۹ آمده است.



شکل ۹- مقدار آب آشامیدنی جمع‌آوری شده در سیستم CI

همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، کمترین مقدار تولید آب آشامیدنی در روز اول و بیشترین تولید آب آشامیدنی در روز چهارم اتفاق افتاده است. به این دلیل روز اول کمترین تولید را داشته و در اولین روز، سطح داخلی لوله خشک بود که مقداری از آب آشامیدنی تولید شده به صورت یک لایه نازک، جذب سطح داخلی لوله شد. این فرایند خیس کردن، در روز دوم نیز ادامه داشت، زیرا مقدار آب آشامیدنی تولید شده در مقایسه با دیگر روزها کمتر بود. همچنین یکی دیگر از دلایل اختلاف در تولید آب آشامیدنی، تأثیر محیط بر روی آزمایش بود. بعد از گذشت سه روز، سیستم به یک حالت پایدار رسید و مقدار آب تولید شده تقریباً برابر با ۴۱۰۰ میلی‌متر بود. به عبارت دیگر سرعت تولید آب آشامیدنی ۰/۵ لیتر بر ساعت بود. مقادیر آب تولیدی از نظر تئوری در شکل ۱۰ آمده است.



شکل ۸- پروب اندازه‌گیری رطوبت و دما

۲-۴- محاسبه آب تولید شده

چنانچه هوای مرطوب در دستگاه تقطیر، ۷۰ درجه سلسیوس گرم شده و تا ۴۰ درجه سلسیوس در لوله‌های دفن شده سرد شود، بخار آب و هوا هر دو در فشار نرمال، در درون و بیرون لوله، مانند گازهای کامل رفتار می‌کنند. مقدار آب چگالش شده از قانون گاز کامل پیروی می‌کند.

$$m = \frac{pV}{RT} \quad (1)$$

که در این رابطه

m جرم ماده بر حسب کیلوگرم، p فشار بر حسب پاسکال، V حجم بر حسب متر مکعب، R ثابت جهانی گاز بر حسب $J/kg.K$ که برای بخار آب $462 J/kg.K$ و برای هوای خشک $287 J/kg.K$ است و T درجه حرارت بر حسب کلوین است. این نسبت در رابطه ۱ بین مقدار بخار و هوای خشک است که وزن آبی که در یک واحد وزن هوای خشک وجود دارد را توصیف می‌کند. این نسبت به رطوبت مخصوص (x) مشهور است (کیلوگرم آب/کیلوگرم هوای خشک). با فرض اینکه بخار هوا در سیستم آبیاری چگالشی اشباع شده باشد، این بیان برای رطوبت مخصوص است [۹].

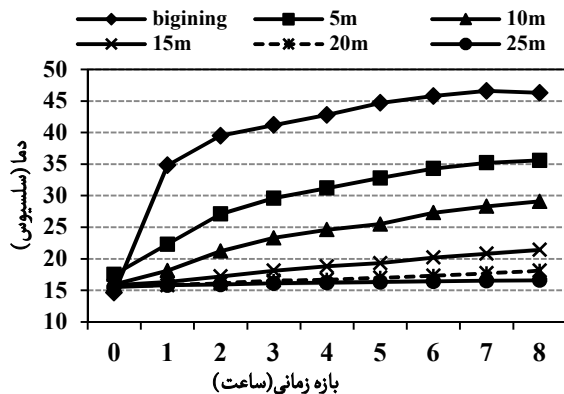
$$x = \frac{0.622 p_{v,sat}}{p_{tot} - p_{v,sat}} \quad (2)$$

که در این رابطه

$p_{v,sat}$ فشار بخار اشباع بر حسب Pa و p_{tot} فشار کل مخلوط آب و هوا بر حسب Pa است که برای درک مفهوم این دو پارامتر ذکر شده ابتدا تعریف فشار بخار جزئی بیان می‌شود. فشار جزئی^۱ به عنوان فشار بخار تعریف شده است، زمانی که به تنهایی حجم یکسانی را که با هوا سهمیم شده، تکمیل کند. اگر بخار مداوماً به هوای محصور شده بپیوندد، فشار جزئی آن سریعاً تا سطح پیشینه برای دمای غالب در سیستم افزایش یافته و به فشار اشباع آن دست می‌یابد. در این شرایط، هوا ناتوان از گرفتن یک مقدار بیشتر است و گفته می‌شود با

¹ Saturation Pressure ($p_{v,sat}$)
² Partial Pressure

و سیستم به‌طور طبیعی در شب به دمای پایدار اولیه خود می‌رسید و این فرایند گرم شدن و سرد شدن هر روز تکرار می‌شد.



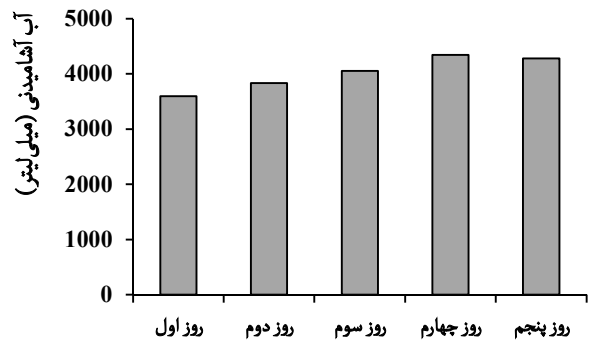
شکل ۱۱- بررسی دما در طول لوله آب آشامیدنی

در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که با نزدیک شدن به انتهای لوله، افزایش دمای سطح لوله کمتر است که به تبع آن، مقدار چگالش آب در طول لوله کاهش و در نتیجه از مقدار آب تولیدی کاسته می‌شود. بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که با دور شدن از ابتدای لوله، تولید آب آشامیدنی نیز کمتر خواهد بود. در پایان، پس از مشاهدات و محاسبات با توجه به شکل ۱۰، می‌توان گفت که سیستم آبیاری چگالشی در تولید آب آشامیدنی، بازده ۴۰ درصد را داشت که این بازده از لحاظ علمی برای این سیستم قابل قبول است.

۴- نتیجه‌گیری

در سیستم توصیف شده برای تولید آب آشامیدنی، هوای مرطوب، زمانی که درون لوله‌های زیرزمینی جریان می‌یابد گرمای خود را از دست می‌دهد و چگالش می‌یابد. با استفاده از لوله‌های زهکش به‌جای لوله‌های معمولی، می‌توان این سیستم را در آبیاری زیرزمینی به‌کار برد. این پژوهش بر روی تولید آب آشامیدنی در استفاده از لوله‌های معمولی انجام شد که این آب آشامیدنی در انتهای لوله جمع‌آوری و با نتایج حاصله از آب تولید شده از لحاظ تئوری و محاسبات مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که تولید آب آشامیدنی از طریق تئوری و تولید آب آشامیدنی در مزرعه بعد از سه روز به‌سوی یکدیگر همگرا شدند.

این مطالعه نشان داد که با نزدیک شدن به انتهای لوله، افزایش دمای سطح لوله کمتر است که نشان دهنده کاهش مقدار آب چگالش یافته در طول لوله است و در نتیجه از مقدار آب تولیدی کاسته می‌شود. بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت که با دور شدن از



شکل ۱۰- مقدار آب آشامیدنی محاسبه شده در سیستم CI

در شکل ۱۰ مقدار آب تولیدی، در برابر زمان رسم شده است. در این شکل نیز با توجه به شکل ۹ یک شیب اولیه وجود دارد، با این تفاوت که شیب، کمتر است. دلیل این پدیده این است که وقتی آب چگالش یافته محاسبه شد، فرض شد که کل آن از لوله خارج شده است.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود متوسط تولید آب آشامیدنی چهار لیتر در روز است که اگر بازه آزمایش بیشتر انتخاب شود، این متوسط قابل افزایش خواهد بود. همچنین به‌طور متوسط در پایان هر روز ده لیتر آب شور از مخزن بخار شده است که با توجه به متوسط تولید چهار لیتر آب شیرین، بازده تولید آب آشامیدنی ۴۰ درصد بود.

۳-۱- بررسی دما در طول لوله

زمانی که هوای مرطوب سرد می‌شود و چگالش می‌یابد، گرمای خود را به لوله داده و لوله گرم می‌شود. در این مطالعه نیز در طول آزمایش، دمای سطح لوله افزایش یافت و در هنگام شب، دمای سیستم و لوله کاهش یافته و به حالت اولیه باز می‌گشت.

در شکل ۱۱ دمای سطح لوله در برابر زمان رسم شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، دمای سطح لوله در مدت زمان آزمایش افزایش یافت. همچنین از آنجا که این تفاوت دما بین هوای مرطوب و خاک در ورودی بیشترین بود، این گرما در ابتدای لوله سریع‌تر از انتهای لوله منتقل شد و دمای خاک اطراف لوله به دمای هوا نزدیک شد. با توجه به این نکته، شعاع تأثیر گرمایی خاک در ابتدای لوله بزرگ‌تر از انتهای لوله بود. این افزایش دما در طول شب کاهش یافت؛ زیرا در شب زمان کافی برای سرد شدن لوله تا دمای اولیه وجود داشت. اگر سیستم در مدت شب، زمان کافی برای سرد شدن را نداشته باشد، باید هوای خشک و خنک شب را توسط پنکه به درون لوله‌ها انتقال داد. در این آزمایش، خنک کردن سیستم در شب توسط پنکه ضرورت نداشت

در این سیستم، بازده علمی تولید آب آشامیدنی از آب شور نزدیک ۴۰ درصد بود که می‌توان با مطالعات بیشتر، بازده تولید را افزود.

ابتدای لوله، تولید آب آشامیدنی نیز کمتر می‌شود. همچنین می‌توان دریافت که محیط اطراف بر روی بازده تولید مؤثر است و با کاهش دمای ورودی، تولید آب آشامیدنی نیز کاهش می‌یابد.

۵- مراجع

1. Shah, M., and Strong, M. (2000). *Food in the twenty first century: From science to sustainable agriculture*, CGIAR Secretariat, World Bank, Washington, DC.
2. Rosegrant, M.W., Cai, X., and Cline, S.A. (2002). *World water and food to 2025: Dealing with scarcity*, Int. Food Policy Research Institute, ISBN 0-89629-646-6.
3. Hussain, A.K.M. (2003). "Solar energy utilization in Libya for seawater desalination." Conference Proceedings and Symposia, Proceedings at the ISES Solar World Congress, Gothenburg.
4. Lindblom, J., and Nordell, B. (2003). "Condensation Irrigation - a system for desalination and irrigation." Proceedings of the International Conference on Energy and Environment, (ICEE-03), Brack, Libya.
5. Lindblom, J., and Nordell, B. (2006). "Water production by underground condensation of humid air." *J. of Desalination*, 189, 248-260.
6. Widegren, M. (1986). "Condensation irrigation, a desalination-irrigation system." M.Sc. Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
7. Nordell, B. (1987). "Design of climate system for Greenhouse in the north of Sweden." Lulea University of Technology, Sweden.
8. Hausherr, B., and Ruess, K. (1993). *Seawater desalination and irrigation with moist air*, Ingenieurbüro Ruess und Hausherr, Switzerland.
9. Gustafsson, A.M., and Lindblom, J. (2001). "Underground condensation of humid air-a solar driven system for irrigation and drinking-water production." MSc Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
10. Lindblom, J. (2006). "Condensation irrigation: Simulations of heat and mass transfer." Licentiate Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
11. Lindblom, J., and Nordell, B. (2007). "Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation." *J. of Desalination*, 203, 417-434.
12. Engineeringtoolbox. (2012). "Measuring air humidity." <http://www.engineeringtoolbox.com/humidity-measurement-d_561.html>. (June, 6, 2012).