

بررسی سطح و حجم خاک خیس شده در آبیاری قطره‌ای در اراضی شیب‌دار

رضوان السادات شریف‌نیا^{۱*}، فرهاد میرزایی^۲ و عبدالمجید لیاقت^۳

چکیده

در طراحی بهینه آبیاری قطره‌ای، برآورد موقعیت جبهه رطوبتی نسبت به منبع تغذیه و یا به عبارتی شکل پیز رطوبتی حائز اهمیت است، در این میان، حداکثر سطح خیس شده خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طور کلی فرض می‌شود که این سطح در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی متری خاک تشکیل می‌گردد. برای بررسی اثر شیب زمین، بر حداکثر سطح خیس شده و مساحت تجمع آب روی خاک، مطالعات مزرعه‌ای بر روی چهار شیب صفر، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد با سه دبی قطره‌چکان ۲، ۴ و ۸ لیتر در ساعت و در زمان آبیاری ۲ و ۴ ساعت بر روی خاک لوم رسی سیلتی انجام شد. اندازه‌گیری ابعاد خیس شدگی بطور مستقیم و با حفر بخش خیس شده خاک پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آبیاری و با تهیه مقاطع موازی با سطح اولیه خاک اندازه‌گیری شد. در این تحقیق رابطه‌ای که عموماً برای تخمین حداکثر قطر خیس شده مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای سطوح شیب‌دار در خاک لوم رسی سیلتی اصلاح گردیده است. همچنین بهتر است که با توجه به تغییر شکل مقطع پیز رطوبتی، فاصله قطره‌چکانها از یکدیگر در شیبهای بالای ۱۰٪ کم شود. دو روش نیز برای برآورد حجم خیس شده مورد استفاده قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: جبهه رطوبتی، حجم خیس شده، سطح خیس شده، سطح شیب دار، منبع تغذیه نقطه‌ای

مقدمه

$$z = 29.2(V_w)^{0.63} \left(\frac{ks}{q}\right)^{0.45} \quad (2)$$

در این روابط، w حداکثر قطر خیس شده (متر)، z حداکثر عمق خیس شده، V_m حجم آب کاربردی (لیتر)، k_s هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر ثانیه) و q دبی قطره‌چکان (لیتر در ساعت) می‌باشد. (Zur (1996) برای زمین مسطح، با انطباق حجم خاک مرطوب شده در زیر قطره‌چکان به یکی از اشکال هندسی تعریف شده در ریاضی، مدلی را ارائه داده است. وی حجم خاک مرطوب شده حاصل از یک قطره‌چکان را پس از گذشت ۲۴ ساعت از آبیاری، برابر با حجم حاصل از دوران بیضی سربریده (ellipsoid Truncated) حول قطر بزرگ آن (عمق خاک مرطوب شده حاصل از حجم مشخص آب) فرض کرد و معادله‌ای برای حجم بیضی‌گون ارائه داد.

$$V = \frac{\pi}{12} d^2 \left[2z + h - \frac{h^3}{(z-h)^2} \right] \quad (3)$$

که در آن V حجم خاک خیس شده، d حداکثر قطر و z حداکثر عمق خیس شده است همچنین h عمقی است که حداکثر قطر خیس شده در آن ایجاد شده است. (Sepaskhah and Chitsaz (2004) ابعاد خیس شده خاک را با استفاده از آنالیز سه بعدی گرین آمپت به دست آورده‌اند و از شکل کره سربریده برای شبیه سازی بخش خیس شده خاک، بلافاصله بعد از آبیاری، استفاده شده است. Thorburn et al. (2003) به طور کلی مقطع قائم پیز رطوبتی را در هر زمان و برای

آبیاری قطره‌ای به دلیل راندمان بالا، سیستم مناسب آبیاری در بسیاری از مناطق کم آب و با آب با کیفیت پایین است. گاه در اراضی شیب‌دار تنها روش آبیاری مقرون به صرفه قابل اجراء می‌باشد. پیز رطوبتی یا الگوی خیس شدن خاک، سهم بسزایی در طراحی آبیاری قطره‌ای دارد. از جمله پارامترهای مهم طراحی فاصله قطره‌چکانها و لوله‌های آبد و حداکثر سطح خیس شده است. عموماً طبق نظر Keller and Karmeli (1975) فاصله قطره‌چکانها، برابر با 0.8 حداکثر قطر خیس شده در نظر گرفته می‌شود. فرض بر این است که حداکثر قطر خیس شده در زیر سطح خاک (عمق ۳۰-۱۵ سانتی متری) رخ می‌دهد. رایج‌ترین روابط مورد استفاده در طراحی برای تخمین حداکثر قطر و عمق خیس شده، روابطی است که Schwartzman and Zur (1986) ارائه دادند، روابط (۱) و (۲).

$$w = 0.031(V_w)^{0.22} \left(\frac{ks}{q}\right)^{-0.17} \quad (1)$$

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(*) - نویسنده مسئول: (Email: Rez.sharif@gmail.com)
۲ و ۳- استادیار و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

ساعت پس از آبیاری و با حفر زمین و تهیه مقاطع موازی با شیب سطح خاک به فواصل عمقی ۵ سانتی‌متر انجام شد سپس مقایسه‌ای بین داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری مزرعه‌ای و تخمین حداکثر قطر خیس شده (در دو جهت شیب و عمود بر آن) و عمق خیس شده خاک صورت گرفت.

نتایج و بحث

عمقی که حداکثر مساحت خیس شده در آن ایجاد شده

حداکثر مساحت خیس شده در خاک مورد بررسی، در عمقی بین ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر ایجاد شد. این عمق تابع دبی، زمان آبیاری و شیب نیست بلکه تابع خصوصیات خاک است. بنابر این می‌توان عمقی را که حداکثر مساحت خیس شده در آن رخ داده است، با میانگین‌گیری، ۷ سانتی‌متر در نظر گرفت.

نسبت حداکثر سطح خیس شده به مساحت خیس شدگی در سطح خاک

نسبت حداکثر سطح خیس شده به مساحت خیس شدگی در سطح تنها تابع خصوصیات خاک است، زیرا اثر دبی، زمان و شیب بر خیس شدگی روی سطح و حداکثر خیس شدگی (که عموماً در زیر سطح خاک رخ می‌دهد) یکسان است و این را می‌توان تنها تابع خصوصیات خاک دانست. شکل (۱) مقایسه حداکثر سطح خیس شده و مساحت خیس شده در سطح خاک را نشان می‌دهد. برآزش نقاط حاصل نشان می‌دهد که در خاک مورد بررسی، می‌توان با ضرب عدد ۱/۱۵ در مساحت خیس شده در سطح، به مقدار حداکثر خیس شدگی دست یافت.

مقایسه دو قطر خیس شدگی در جهت شیب و عمود بر شیب

شکل (۲) تغییرات دو قطر در جهت شیب (S-N) و عمود بر شیب (E-W) را نسبت به قطر خیس شده در سطح صاف نشان می‌دهد. تا شیب ۱۰٪ تغییرات معنی‌داری در نسبت قطر خیس شدگی رخ نمی‌دهد و می‌توان سطح خیس شده را دایره فرض کرد. اما در شیب‌های بیشتر نیاز به توجه به دبی و زمان کاربرد وجود دارد. لازم به ذکر است که این مقایسه تنها در یک مقطع است و انحراف پیاز رطوبتی را توضیح نمی‌دهد. زیرا ممکن است نسبت دو قطر در مقاطع ثابت باشد اما الگوی خیس شده در جهت شیب دچار چولگی شده باشد. به طور کلی با افزایش شیب، روند افزایش قطر در جهت شیب، مشابه روند کاهش قطر در جهت عمود بر شیب بوده است و علت افزایش بیشتر قطر در جهت شیب (S-N) در شیب ۲۵٪ را می‌توان با ایجاد رواناب و جریان زیرسطحی توجیه کرد.

هر بافت خاک به صورت نیم بیضی در نظر گرفتند. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۷۷) در تحقیق در ۴ بافت خاک با شیب‌های صفر، ۲، ۵ و ۱۰ درصد و به کار بردن سه دبی ۴، ۸ و ۱۲ لیتر در ساعت در این مزارع به اندازه‌گیری انحراف بخش مرطوب شده در اثر شیب پرداخت. همچنین اثر بافت بر عمق و قطر خیس شده خاک بررسی شد. تیشه‌زن و موسوی (۱۳۸۵) پیشروی جبهه رطوبتی تحت منبع نقطه‌ای در خاک‌های مطابق با سطوح شیب‌دار را مورد بررسی قرار دادند. شریف‌نیا و همکاران (۱۳۸۸) با تایید نتایج مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۷۷) مبنی بر تغییر شکل پیاز رطوبتی در اثر شیب، رابطه‌ای تجربی برای تخمین فاصله محور پیاز رطوبتی از محور قطره‌چکان ارایه دادند. محور قطره‌چکان عبارت است از راستای قائم در محل قرارگیری قطره‌چکان و محور پیاز رطوبتی خطی است که خیس شدگی در دو سمت آن نسبتاً متقارن است.

$$L = R_{S0} \times \sin 2\alpha \quad (4)$$

که در آن L انحراف محور پیاز رطوبتی از محور قطره‌چکان (در راستای شیب)، RS0 شعاع خیس شدگی در سطح در شیب صفر و α زاویه سطح شیب‌دار با افق می‌باشد. $(\alpha = \arctan(s))$ برای اساس پیشنهاد شده که قطره‌چکانها به فاصله L، در بالادست گیاه قرار بگیرد تا پیاز رطوبتی در محل گیاه از تقارن مناسبتری برخوردار باشد.

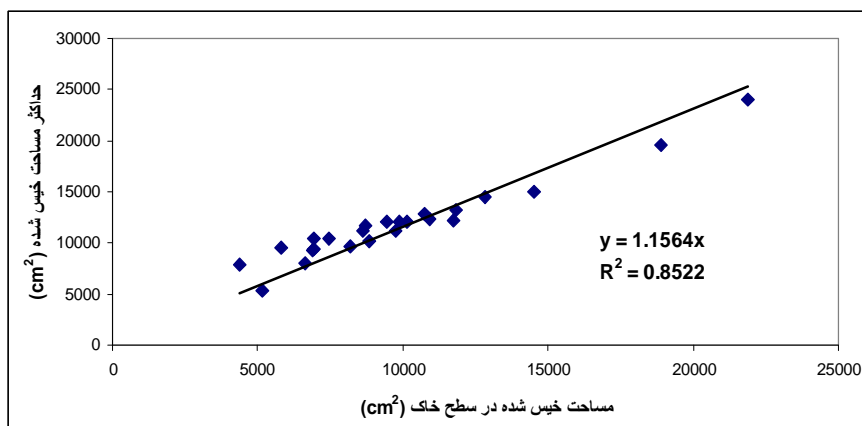
مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر شیب بر شکل پیاز رطوبتی، مزرعه‌ای با خاک لوم رسی سیلتی به چهار قطعه در ابعاد ۵ در ۵ متر تقسیم شد. شیب قطعات صفر، ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد (شمال - جنوب) طراحی گردید. شیب کلی زمین به وسیله دوربین نیوو و شیب دقیق با تراز شیب‌سنج تنظیم شد. سعی شد که تراکم خاک قطعات تا حد امکان یکنواخت باشد. قطره‌چکانها از نوع روی خط و تنظیم‌شونده خودکار بودند. دبی‌های مورد استفاده ۲، ۴، ۸ و ۱۲ لیتر در ساعت بودند. با نصب سه راهی و شیر قطع و وصل، امکان قطع جریان آب در زمان دلخواه فراهم شد. ۶ آزمایش به شرح جدول (۱) در هر شیب انجام گردید.

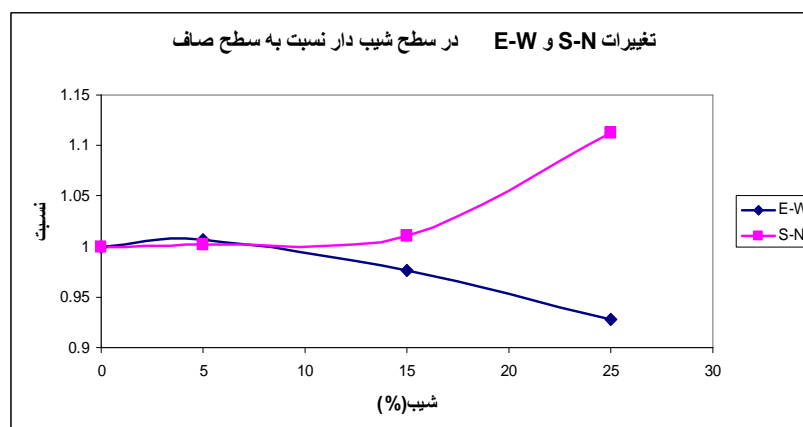
جدول ۱- معرفی تیمارها

T \ Q	۱ ساعت	۲ ساعت	۴ ساعت
۲ liter/hr			S%Q2T4
۴ liter/hr		S%Q4T2	S%Q4T4
۸ liter/hr	S%Q8T1	S%Q8T2	S%Q8T4

در این جدول S درصد شیب، Q دبی بر حسب لیتر در ساعت و T زمان آبیاری بر حسب ساعت می‌باشد. اندازه‌گیری ابعاد خیس شده، ۲۴



شکل ۱ - حداکثر سطح خیس شده و مساحت خیس شده در سطح خاک در همه آزمایشها



شکل ۲ - متوسط تغییرات قطر خیس شده در جهت شیب (S-N) و عمود بر آن با شیب (E-W)

هیدرولیکی اشباع و دبی می‌باشد. در سطوح شیب‌دار علاوه بر اثر عوامل فوق، جریان زیرسطحی نیز موجب گسترش خیس‌شدگی در جهت شیب می‌شود. جریان زیرسطحی را می‌توان متأثر از زمان کاربرد آب، دبی، هدایت هیدرولیکی و شیب دانست. خیس‌شدگی در اثر جریان زیرسطحی یا در ضریب رابطه (۱) اثر می‌گذارد و یا آنکه توانها را تغییر می‌دهد و یا در هر سه مورد اثرگذار است. بر این اساس می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه (۵) در نظر گرفت.

$$w = C(V_w)^{aw+aws} \left(\frac{ks}{q}\right)^{bw+bws} \quad (5)$$

که در آن w حداکثر قطر خیس‌شده در جهت شیب (متر)، C ضریب ثابت، V_m حجم آب کاربردی (لیتر)، ks هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر ثانیه)، q دبی قطره‌چکان (لیتر در ساعت)، aw و bw توانهای رابطه (۱)، aws و bws توانهای جدید برای لحاظ کردن جریان زیرسطحی در سطوح شیب‌دار است. با حل معکوس از داده‌های اندازه‌گیری شده در نرم افزار اکسل، مقدار aws برابر با صفر به دست آمد که در نتیجه توان حجم آب کاربردی مقداری ثابت و

جدول (۲) نسبت قطر خیس شده عمود بر جهت شیب (E-W) را به قطر در جهت شیب (S-N) در شیبهای مورد بررسی نشان می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که با افزایش شیب، قطر خیس‌شده در جهت عمود بر شیب کم می‌شود. در نتیجه با توجه به شکل (۲)، در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای در زمینهایی که شیب بیشتر از ۱۰٪ دارند، برای همپوشانی بهتر قطره‌چکانها، بهتر است که فاصله آنها نسبت به حالتی که زمین مسطح است کمتر در نظر گرفته شود.

جدول ۲ - نسبت قطر عمود بر جهت شیب به قطر در جهت شیب

شیب	٪۰	٪۵	٪۱۵	٪۲۵
متوسط e-w/s-n	۱	۱	۰/۹	۰/۸۲

اصلاح رابطه تخمین حداکثر قطر خیس شده، در جهت شیب رابطه (۱) را برای حداکثر قطر خیس شده در سطح صاف ارایه شده است. که در آن خیس‌شدگی تابع حجم آب کاربردی، هدایت

رابطه (۱) با افزایش شیب، درصد خطا افزایش می‌یابد در حالی که در رابطه اصلاح شده این خطا تعدیل می‌شود و ضریب همبستگی نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۳- مقدار خطای نسبی و R^2

AE	%۰	%۵	%۱۵	%۲۵	R^2_w
w sh.-z.	%۷	%۱۱	%۱۵	%۱۴	۰/۶
w adjust	%۷	%۹	%۹	%۱	۰/۷

تخمین حداکثر قطر خیس شده عمود بر جهت شیب

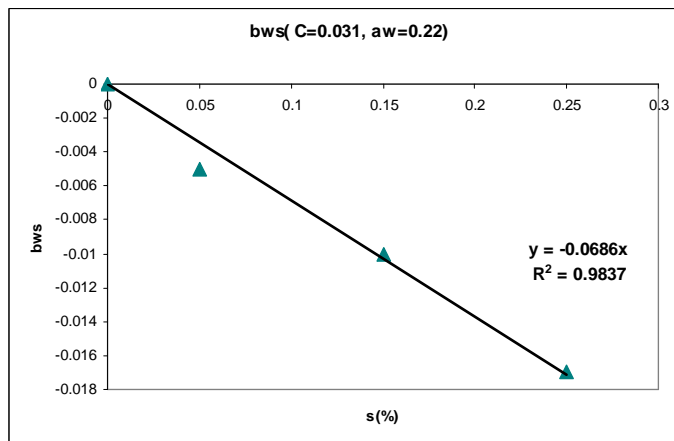
استفاده از رابطه (۱) برای برآورد قطر خیس شده عمود بر شیب، خوب اما اندکی کمتر از واقعیت است. در واقع جریان زیرسطحی تفاوت زیادی در قطر خیس شده عمود بر شیب ندارد و تنها مقدار حداکثر آن را از محل قطره‌چکان به پایین دست سوق می‌دهد.

برابر توان رابطه (۱) است، $(aw = 0.22)$. متغیر قرار دادن ضریب C و ثابت فرض کردن توانها با مقادیر اولیه $(0.22 و 0.17)$ نشان داد که روند خاصی در تغییرات این ضریب رخ نمی‌دهد. اما بررسی bws بیانگر این بود که این متغیر تنها یک عدد ثابت نیست بلکه می‌توان آن را به صورت ضریبی از شیب تعریف کرد. شکل (۳) تغییرات bws را با تغییر شیب نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، $0.07 \times S$ را می‌باشد. که در آن S، شیب سطح و یا تانژانت زاویه سطح با افق می‌باشد. در نهایت رابطه پیشنهادی برای تخمین قطر خیس شده در جهت شیب به صورت زیر خواهد بود، رابطه (۶).

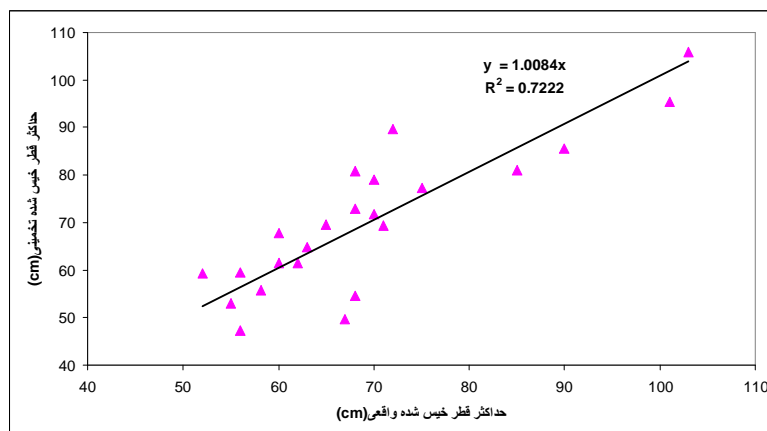
$$w = 0.031(V_w)^{0.22} \left(\frac{ks}{q}\right)^{-0.17-0.07S} \quad (6)$$

همچنین شکل (۴) نشان می‌دهد که مطابقت خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد از رابطه (۶) وجود دارد.

جدول (۳) مقادیر درصد خطای نسبی قطر تخمینی نسبت به مقدار اندازه‌گیری را برای هر شیب نشان می‌دهد. سطر اول مربوط به رابطه (۱) و سطر دوم خطای رابطه اصلاح شده (رابطه (۶)) می‌باشد. در



شکل ۳- تغییرات bws با شیب



شکل ۴- مقایسه حداکثر قطر خیس شده واقعی و برآورد از رابطه (۶)

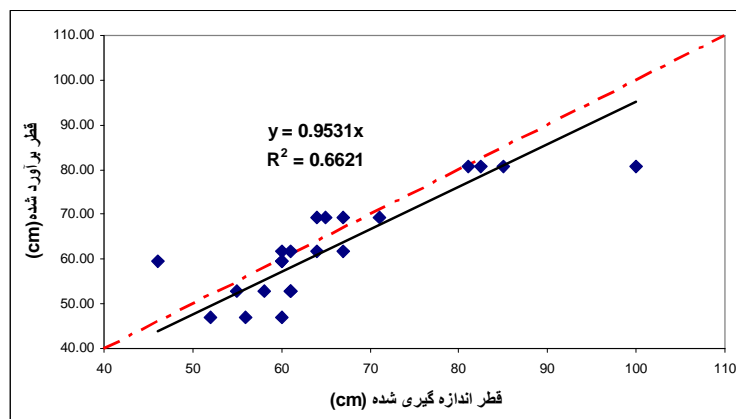
تخمین حداکثر سطح خیس شده

شکل (۶) مقایسه حداکثر سطح خیس شده برآورد شده را با سطح خیس شده اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که در آن نقاط مثلث شکل (سری یک) و خط پیوسته برای روابط جدید و نقاط مربع شکل (سری دو) و خط منقطع مربوط به رابطه (۱) می‌باشد. استفاده از رابطه اصلاح شده (۴)، برای قطر در جهت شیب و رابطه (۱) برای قطر عمود بر شیب، مطابقت بهتری با واقعیت نسبت به استفاده از رابطه (۱) برای هر دو قطر دارد. استفاده از رابطه جدید خط برازش را به نیمساز نزدیکتر می‌کند (شیب خط از ۰/۸۷ به ۰/۹۸ و ضریب همبستگی از ۰/۶۶ به ۰/۷ می‌رسد). جدول (۵) نشان می‌دهد که بجز داده‌های شیب ۵٪ در بقیه موارد درصد خطای نسبی با استفاده از تابع جدید برای قطر در جهت شیب، کاهش پیدا کرده است.

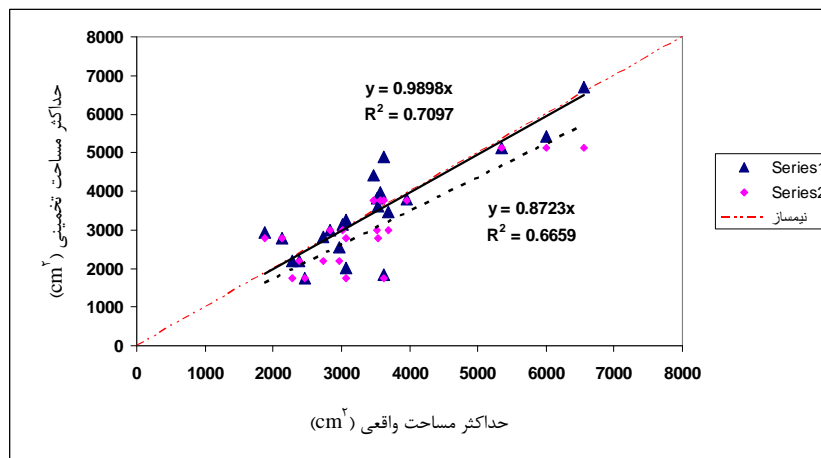
شکل (۵) نشان‌دهنده مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و برآورد از رابطه (۱) است. خط پیوسته برازش داده‌ها و خط چین نیمساز ۴۵ درجه را نشان می‌دهد. جدول (۴) مقدار خطای نسبی و R^2 را در تخمین رابطه (۱) نشان می‌دهد. تغییر در توانها و ضریب این رابطه (بر اساس تغییرات شیب) برای تخمین دقیق‌تر، اگر چه از مقدار R^2 کم کرد اما اثر سودمندی در درصد خطای نسبی نداشت. در جدول (۴) بیشترین خطا مربوط به شیب ۱۵٪ به مقدار ۱۱/۶٪ می‌باشد. تغییرات در ضریب و توانها باعث کاهش خطا در این شیب می‌شود اما خطا در سایر موارد را زیاد می‌کند لذا رابطه (۱) برای قطر عمود بر شیب پذیرفته می‌شود.

جدول ۴- مقدار خطای نسبی و R^2 برای تخمین حداکثر قطر خیس

شده عمود بر شیب					
AE	%۰	%۵	%۱۵	%۲۵	R^2_w
W sh.-z.	%۵/۴	%۱۰-۴	%۱۱/۶	%۵/۲۵	۰/۶۶



شکل ۵- مقایسه مقدار اندازه‌گیری و برآورد حداکثر قطر خیس شده در جهت عمود بر شیب



شکل ۶- مقایسه حداکثر مساحت واقعی و برآورد شده

توانها به صورت مجهول در نظر گرفته شد و با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و حل معکوس مقادیر توان محاسبه شد، رابطه (۷).

$$Z = C(V_w)^{az+azs} \left(\frac{ks}{q}\right)^{bz+bzs} \quad (7)$$

که در آن az و bz توانهای رابطه (۲)، azs و bzs توانهای جدید برای لحاظ کردن اثر شیب است. بررسی توانها و ضریب (به صورت مجزا) نشان داد که توان به کار رفته برای حجم آب کاربردی مانند رابطه قطر خیس شده ثابت بود و با شیب تغییر نمی‌کرد، $(az+azs=0.63)$. اما رابطه‌ای که بتواند با تغییر ضریب و توان bzs همبستگی داده‌ها را بهبود ببخشد، به دست نیامد. بنابراین همانطور که رابطه (۲) برای شیب صفر مناسب نبود رابطه اصلاح شده (۷) نیز برای شیبهای ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ مطابقت خوبی با واقعیت ارائه نداد.

– بررسی حجم خاک خیس شده

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری ابعاد خیس شده در کل آزمایشها نشان داد که حداکثر سطح خیس شده به طور متوسط، در عمق ۷ سانتی‌متری تشکیل شده است. بنابر این فرض Thorburn et al. (2003) مبنی بر نیم‌بیضی بودن مقطع قائم پياز رطوبتی با خطا همراه خواهد بود. شکل (۸) نشان می‌دهد که اگر پياز رطوبتی به صورت کره ناقص باشد، بایستی حداکثر شعاع خیس شده (R_{max}) و تفاضل عمق خیس شده (Z) و عمقی که در آن حداکثر خیس‌شدگی رخ داده است (h)، برابر باشد. خطای نسبی برابر در نظر گرفتن این دو مقدار در جدول (۷) برای هر شیب نشان داده شده است.

جدول ۵- خطای نسبی در برآورد حداکثر مساحت خیس شده

AE	%+	%۵	%۱۵	%۲۵	R ²
Area Sh.Z.	%۱۳	%۲۴	%۲۱	%۱۷	۰/۶۶
Area new	%۱۳	%۲۵	%۱۷	%۹	۰/۷۱

تخمین حداکثر عمق خیس شده

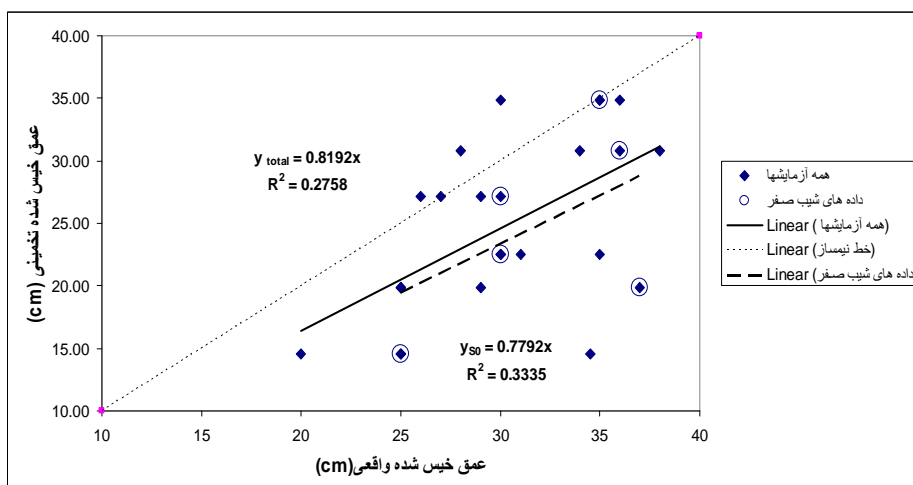
Schwartzman and Zur (1986) رابطه (۲) را برای تخمین عمق خیس شده ارائه دادند. این رابطه مشابه رابطه ارائه شده برای قطر خیس شده (رابطه (۱)) است. تنها توانها و ضریب در این رابطه تغییر کرده است. جدول (۶) نشان می‌دهد که به طور متوسط تفاوتی بین عمق خیس شده در شیب ۵٪ و صفر درصد وجود ندارد.

جدول ۶- متوسط عمق خیس شده بر حسب سانتی‌متر

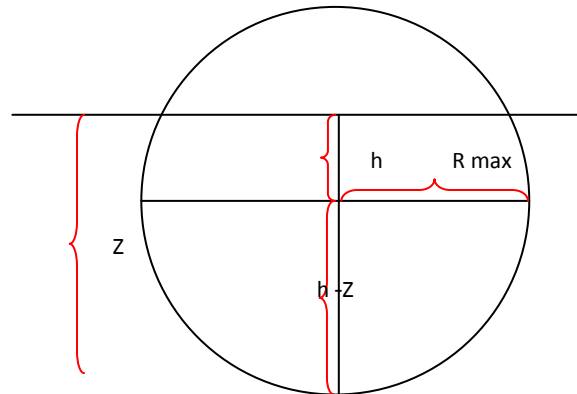
شیب	%+	%۵	%۱۵	%۲۵
Z average	۳۲	۳۲	۳۰	۳۸

در شکل (۷) تخمین رابطه (۲) برای عمق خیس شده در کلیه آزمایشها با مقادیر واقعی سنجیده شده است. خط پررنگ پیوسته برازش کل داده‌ها و خط چین برازش داده‌های شیب صفر را نشان می‌دهد. نقاط دایره‌شکل مربوط به سطح افقی می‌باشد. برازش نشان می‌دهد که تخمین خوبی در شیب صفر صورت نگرفته است ($R^2=0.33$).

متعاقباً تخمین رابطه (۲) برای کل داده‌ها (در چهار شیب) نیز مناسب نبوده است ($R^2=0.27$) و نیز در این رابطه تقریباً تخمینی کمتر از واقعیت ارائه داده است. مانند بررسی قطر خیس شده ابتدا



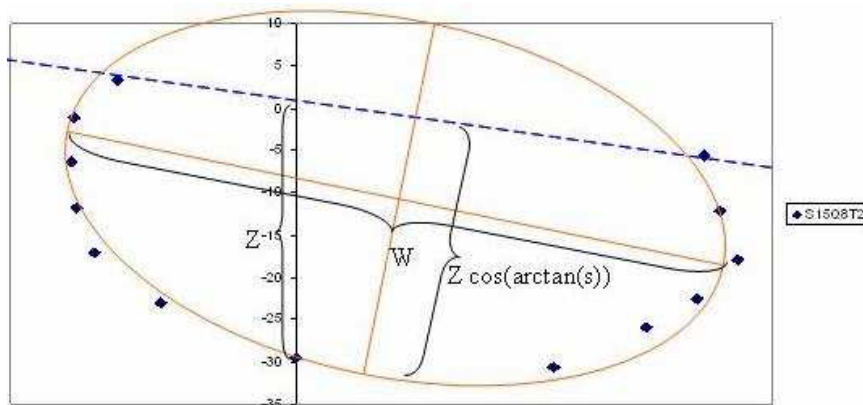
شکل ۷- مقایسه تخمین رابطه (۲) برای عمق خیس شده با داده‌های اندازه‌گیری شده



شکل ۸- ابعاد پیاز رطوبتی

جدول ۷- خطای نسبی برابر در نظر گرفتن Z-h با Rmax

عمود بر جهت	جهت شیب	عمود بر جهت	جهت شیب
٪۲۴	میانگین S0%	٪۲۲	جهت شیب
٪۲۷	میانگین S25%	٪۱۸	عمود بر جهت



شکل ۹- فرض مقطع پیاز رطوبتی به شکل بیضی ناقص (شیب ۱۵٪، دبی ۸lit/hr و زمان ۲ ساعت)

بر اساس آنچه گفته شد رابطه (۳)، برای سطوح شیبدار به رابطه (۸) تبدیل می شود.

$$V = \frac{\pi}{12} W_1 W_2 \left[2z' + h' - \frac{h'^3}{(z' - h')^2} \right] \quad (۸)$$

$$z' = z \cos(\arctan(s)) \quad (۹)$$

$$h' = h \cos(\arctan(s)) \quad (۱۰)$$

که در آن W_1 و W_2 به ترتیب، حداکثر قطر در جهت شیب و عمود بر شیب، z' و h' نیز مولفه عمود بر سطح مقادیر z و h در راستای قائم هستند. با توجه به اینکه مقدار متوسط عمقی که در آن حداکثر خیس شدگی رخ داده $h = 7\text{cm}$ است و همچنین برآورد رابطه (۴) برای عمق خیس شده مناسب ارزیابی نشد، از دو عمق برآورد شده (Z_{zur}) از رابطه (۴) و عمق واقعی (Z_{real}) برای محاسبه حجم استفاده شد که

رابطه (۳) برای بیان حجم پیاز رطوبتی در خاکهای لومی ارائه شده و در آن فرض شده که شکل پیاز رطوبتی را به صورت بیضی دوران یافته ناقص است. در سطوح شیبدار می توان فرض کرد که مقطع پیاز رطوبتی شکل بیضی ناقص را حفظ کرده است با این تفاوت که به اندازه زاویه سطح با افق چرخیده است و اینکه الزاماً مقطع سطحی آن به شکل دایره نیست. به عبارتی قطر در جهت شیب و عمود بر آن، در سطوح شیبدار با هم برابر نیستند. بنابر این بجای d^2 حاصل ضرب دو قطر در جهت شیب و عمود بر آن قرار داده می شود. همچنین از آنجا که مقدار z و h در راستای قائم قرائت شده اند، این مقادیر در $\cos(\arctan(s))$ ضرب می شود تا مولفه عمود بر سطح به دست آید. شکل (۹) فرض مقطع به شکل بیضی ناقص را برای شیب ۱۵٪، دبی ۸lit/hr و زمان ۲ ساعت نشان می دهد.

استفاده کرد. در کل آزمایشها، تفاوت چندانی بین حجم محاسبه شده با عمق واقعی خیس‌شدگی و عمق برآورد شده رابطه (۴)، مشاهده نشد. در نتیجه تغییرات حجم بیش از آنکه تابع تغییرات عمق باشد تابع تغییرات سطح خیس شده است.

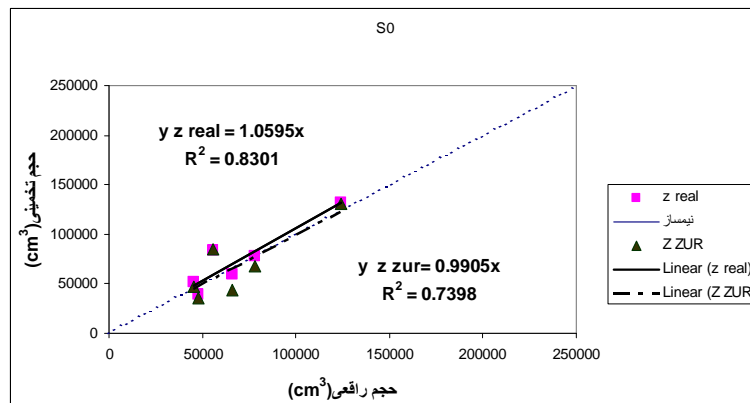
فرض مقطع بیضی ناقص در شیبهای صفر و ۵٪ تخمین مناسبی از واقعیت ارائه می‌دهد، شکل‌های (۱۰) و (۱۱). اما با افزایش شیب به ۱۵ و ۲۵٪ تخمین صحیحی به دست نیامد. مطابق شکل (۱۴) می‌توان تصور کرد که مقطع شکل پیزا رطوبتی به صورت بیضی می‌باشد که به سمت شیب چرخیده است. اما زاویه چرخش بیضی برابر زاویه سطح با افق نیست. مرکز بیضی در عمقی که حداکثر خیس‌شدگی در آن رخ داده فرض می‌شود و برای تخمین فاصله آن تا محور قطره‌چکان (امتداد قائم از محل قطره‌چکان) می‌توان از رابطه (۴) استفاده کرد.

نتیجه برای ۴ شیب مورد بررسی در شکل‌های (۱۰) تا (۱۵) نشان داده شده است. در این شکل‌ها حجم برآورد شده از رابطه (۷) به دست آمده و مقدار حجم واقعی از به دست آوردن مجموع حجم‌های محصور بین دو مقطع با فاصله ۵ سانتی‌متر به دست آمده است، رابطه (۱۰).

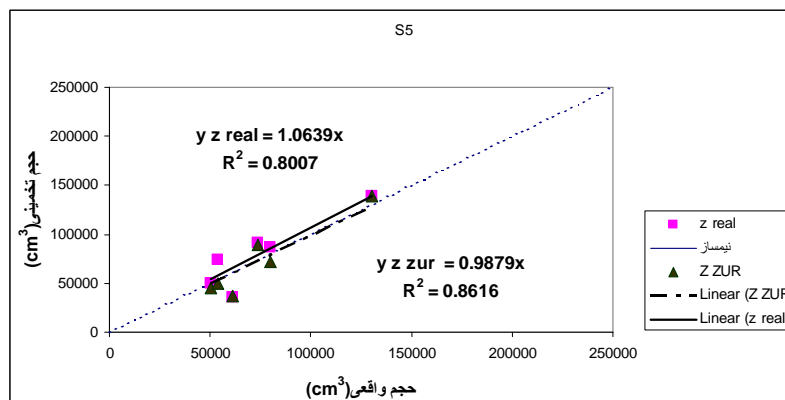
$$V_{real} = \frac{A_1 + A_2}{2} \times Z_{1-2} \quad (11)$$

در این رابطه V_{real} حجم واقعی، A_1 و A_2 مساحت دو مقطع متوالی (موازی با شیب سطح) و Z_{1-2} فاصله بین دو مقطع (۵ سانتی‌متر) می‌باشد.

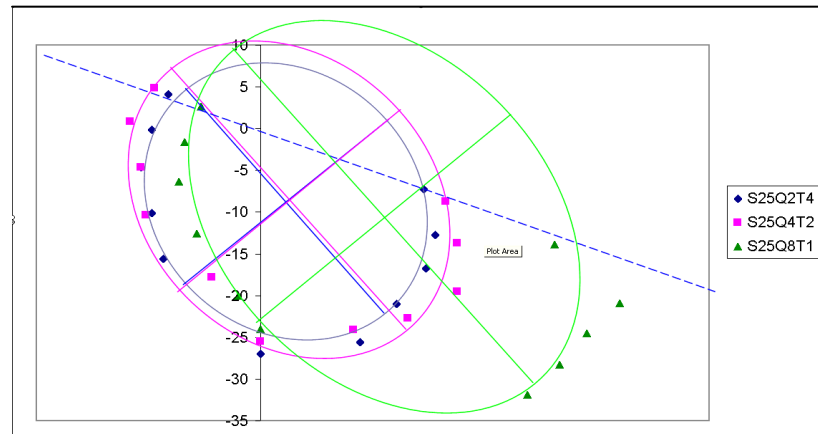
تغییرات عمق در کل آزمایشها بین ۲۰-۳۰ سانتی‌متر بود، در حالی که تغییرات قطر خیس شده در جهت شیب حداکثر ۱۰۳-۵۲ سانتی‌متر و عمود بر شیب ۱۰۰-۴۶ سانتیمتر مشاهده شد. بنابراین در این مطالعه تغییرات عمق نسبت به تغییرات سطح کمتر بوده است. به همین علت می‌توان از رابطه (۲) با خطای زیاد برای محاسبه حجم



شکل ۱۰- مقایسه حجم واقعی و تخمینی در شیب صفر



شکل ۱۱- مقایسه حجم واقعی و تخمینی در شیب ۵٪



شکل ۱۲- فرض مقطع بیضی برای پیاز رطوبتی در شیب ۲۵٪ و حجم ثابت آب کاربردی Alit/hr

۵- استفاده از رابطه (۳) برای حجم پیاز رطوبتی، تخمین خوبی برای شیبهای صفر و ۵٪ ارائه داد اما برای شیبهای بالاتر مناسب نبود. در شیبهای کم مقطع خیس شدگی را می توان با یک بیضی توجیه کرد اما در شیب ۲۵٪ برای دبی زیاد مثل ۸ لیتر در ساعت و دبی ۴ لیتر در ساعت و زمان ۴ ساعت به علت به وجود آمدن جریان سطحی و زیرسطحی مقطع خیس شده از حالت بیضی خارج می شود.

۶- تغییرات حجم بیش از آنکه تابع تغییرات عمق باشد تابع تغییرات سطح خیس شده (چه در سطح و چه در عمق) است زیرا تغییرات عمق نسبت به تغییرات سطح کمتر است و اهمیت برآورد صحیح سطح خیس شده بیش از عمق خیس شدگی می باشد به همین علت می توان از رابطه (۴) با خطای زیاد برای محاسبه حجم استفاده کرد.

پیشنهادات

- ۱- در این تحقیق دبی در مدت آزمایش ثابت بود و هدایت هیدرولیکی خاک نیز تغییرات چشمگیری نداشت. ضروری است بهبود بخشی رابطه اصلاح شده برای حداکثر قطر خیس شده در سامانه آبیاری با شدت جریان خروجی متغیر (در اثر افت) و هدایت هیدرولیکی متغیر در مزارعی با وسعت واقعی، سنجیده شود.
- ۲- در شیب ۲۵٪ استفاده از دبی ۴ و ۸ lit/hr موجب رواناب سطحی شد. استفاده از دبی ۲ lit/hr در شیب ۲۵٪ به بالا توصیه می شود چرا که رواناب ایجاد نمی شود.
- ۳- اثر جذب ریشه بخصوص اگر سطحی باشد در جلوگیری از ایجاد رواناب حائز اهمیت است که در این تحقیق به آن پرداخته نشد.
- ۴- در تحقیق حاضر تنها یک بافت مورد بررسی قرار گرفت و لازم

اما به دست آوردن حجم از روابط ریاضی، بر مبنای فرضیات ذکر شده دشوار و پیچیده است. علاوه بر آن برای به دست آوردن زاویه چرخش پیاز رطوبتی (که برابر با زاویه سطح با افق نیست) به آزمایشهای بیشتری نیاز است.

نتیجه گیری

- ۱- در خاک لوم رسی سیلتی و سطوح شیبدار، می توان از رابطه (۱) برای تخمین حداکثر قطر خیس شده عمود بر شیب و با اندکی اصلاح برای حداکثر قطر خیس شده در جهت شیب استفاده کرد.
- ۲- بررسی حداکثر سطح خیس شده نشان داد که استفاده از رابطه اصلاح شده برای تخمین قطر در جهت شیب، تخمین دقیقتری حاصل می کند.
- ۳- نسبت حداکثر سطح خیس شده به مساحت خیس شدگی در سطح تابع مکش خاک است. در واقع دبی، زمان و شیب در اندازه هر دو سطح یکسان اثر می گذارد در نتیجه نسبت این دو تنها تابع مکش است.
- ۴- نسبت قطر خیس شده عمود بر جهت شیب به قطر در جهت شیب، در شیب صفر و ۵ درصد، ۱ است اما این نسبت در شیب ۱۵٪ به ۰/۹ و در شیب ۲۵٪ به ۰/۸ می رسد. در نتیجه، فاصله دو قطره چکان در طراحی برای سطوح شیبدار (شیب بالاتر از ۱۰٪) نیازمند تغییر است. این فاصله که طبق نظر Keller and Karmeli (1975)، ۰/۸ اندازه حداکثر قطر خیس شده است. به طور معمول توصیه می شود که ضریب ۰/۸ در خاک لومی رسی سیلتی برای شیبهای بین ۲۰-۱۰ درصد در عدد ۰/۹ ضرب شود (۰/۷۲) و برای شیبهای بین ۳۰-۲۰ در ۰/۸ ضرب شود. در نتیجه در خاکهای شیبدار نمی توان از یک ضریب ثابت برای تعیین فاصله قطره چکانها استفاده کرد و باید بررسی های بیشتری در این زمینه صورت گیرد.

۲۲

- Keller J., Karmeli D. (1975), Trickle Irrigation. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, California 91740, U. S. A
- Sepaskhah A.R., Chitsaz H. (2004), validating the Green-Ampt analysis of wetted radius and depth in trickle irrigation, Biosystems Engineering . 89 (2), 231–236
- Schwartzman M., Zur B. (1986), Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112, 242–253
- Thorburn P.J., Cook F.J., Bristow K.L. (2003), Soil-dependent wetting from trickle emitters: implication for system design and management. Irrig Sci. 22: 121-127
- Zur B. (1996), Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. Irrigation Science. 16, 101–105

است نتایج به دست آمده در سایر بافتها و همچنین زمانهای کاربرد بیش از ۴ ساعت بررسی شود.

مراجع

تیشه‌زن، پ. و س.ف. موسوی (۱۳۸۵). بررسی پیشروی جبهه رطوبتی تحت منبع نقطه‌ای در خاکهای مطبق با سطوح شیبدار، اولین همایش ملی شبکه‌های آبیاری و زهکشی.

شریف نیا، ر. و ف. میرزایی و ع. لیاقت (۱۳۸۸). عوامل موثر بر شکل خیس‌شدگی در آبیاری قطره‌ای و اصلاح موقعیت قطره‌چکان در اراضی شیبدار. مجله پژوهشی آب ایران. جلد سوم، شماره پنجم.

مصطفی‌زاده ب. و س.ف. موسوی و م.ح. شریف‌بیان‌الحق (۱۳۷۷)، پیشروی جبهه رطوبتی از منبع نقطه‌ای در سطوح شیبدار، نشریه کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دوم، شماره سوم، صفحات ۱۳ تا

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۱۴

Investigation of Wetted Area and Wetted Soil Volume in Trickle Irrigation in Sloping Lands

R. Sharif Nia^{1*}, F. Mirzaii², A.M. Liaghat³

Abstract

Wetted front placement is important in optimal irrigation system design. Wetted pattern depends on emitter discharge, application time, total volume of applied water, soil texture and lands slope. maximum wetted area is considered 15 to 30 cm, generally. to investigate slope effects on the maximum wetted area and wetted soil volume, a field study was conducted in a silty clay loam field with 4 different slopes of 0, 5, 15 and 25%, emitter discharge of 2, 4 and 8 lit/hr and application times of 2 and 4 hr. Wetting pattern dimensions were measured by excavation sections parallel to the surface, 24 hr after finishing irrigation. By result of this study, the equation which is generally used to estimate the maximum wetted diameter, adjusted in silty clay loam sloping lands and decreasing emitters distance in single line system in the slopes more than 10% suggested. also 2 methods used to determine wetted soil volume.

Keywords: Point source, Slope land, Wetted area, Wetting front, Wetted volume

1- Former MS Student Irrigation Engineering Department, University College of Agriculture and Natural Resources, Tehran University

(* - Corresponding Author Email: Rez.sharif@gmail.com)

2,3- Asst. And Assoc Professor of Irrigation Department, University College of Agriculture and Natural Resources Engineering, Tehran University, Respectively