تأثیر تغییرات زمانی نفوذ در مدیریت آبیاری جویچه‌ای

محمدرضا امداد،[1*] مهدی شهابی‌فر و حسین فرداد

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب؛ emdadmr591@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب؛ m_shahabifar@yahoo.com

دانشیار بازنشسته دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران؛ H.fardad@yahoo.com

چکیده

مدیریت و طراحی مناسب روش‌های آبیاری، مستلزم آگاهی از جزئیات نفوذ آب به خاک است که بایستی تعیین شود. یکی از مشخصه‌های فیزیکی خاک که مدیریت آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد مسئله نفوذ و تغییرات آن می‌باشد که در طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری مهم می باشد و تعیین معادله‌ای که حاکم بر این فرآیند است نقش مهمی در موفقیت یک آبیاری دارد. وقتی به علت تغییرات خواص سطحی خاک، میزان نفوذ آب به خاک چنان کاهش یابد که آب کافی در اختیار گیاه قرار نگرفته و عملکرد محصول کاهش یابد، مشکل نفوذپذیری پیش آمده است. نفوذ نهایی خاک از جمله خواص فیزیکی خاک بوده که تغییرات آن موجب تغییرات نفوذ تجمعی می‌گردد. در این راستا نفوذ نهایی و تجمعی خاک در آبیاری جویچه‌ای و تغییرات آن با دفعات آبیاری در زراعت ذرت در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران بررسی گردید. نفوذ نهایی خاک از روش ورودی ـ خروجی و نفوذ تجمعی با استفاده از معادله کوستیاکوف ـ لوئیز تعیین شد. نتایج نشان داد که نفوذ نهایی خاک در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای دوره به میزان 34 درصد کاهش یافت. در این راستا راندمان کاربرد آب به میزان 10 درصد نسبت به ابتدای دوره کاهش یافت. با توجه به تغییرات راندمان کاربرد، به منظور نفوذ عمق مشخص آب در ابتدا و انتهای دوره، زمان آبیاری در انتهای فصل بایستی نسبت به ابتدای فصل افزایش یابد که این بیانگر تغییرات کاهشی نفوذ در طول فصل و حاکی از افزایش زمان آبیاری به منظور نفوذ عمق مشخص آب جهت حصول به راندمان کاربرد بالا می‌باشد.

واژه های کلیدی: نفوذ نهایی خاک، جویچه، راندمان

مقدمه

کمبود منابع آب مناسب یکی از مشکلات مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که اکثر نقاط ایران را شامل می‌شود. در بسیاری از نقاط جهان منابع آب مناسب برای بهره‌برداری رو به کاهش است و با توجه به مصارف روزافزون آن در جوامع شهری، صنعتی و افزایش سرانه، تدریجاً کاهش می‌یابد (Martinez، 1999). در این راستا اعمال مدیریت مناسب آبیاری سهم بسزایی در کیفیت و کمیت این منابع داشته و می‌تواند با کم کردن تلفات آب و رواناب و رساندن آب مورد نیاز به منطقه ریشه گیاهان، موجبات نیل به پتانسیل تولید و عملکرد را فراهم نماید. نفوذپذیری خاک یکی از مشخصات فیزیکی آن است که در آبیاری اهمیت خاص دارد. فرآیند ورود آب را به خاک از سطح خاک و بطور عمودی نفوذ (Infiltration) گویند (بای‌بوردی، 1372).

1- نویسنده مسئول، آدرس: تهران، خیابان جلال آل احمد، خیابان کارگر شمالی، روبروی بیمارستان شریعتی، موسسه تحقیقات خاک و آب،صندوق پستی 6185-14155

* دریافت: 84/3/17 و پذیرش: 84/6/4

به مفهوم دیگر نفوذپذیری استعداد و توانایی خاک برای عبور آب می‌باشد. نفوذ از پارامترهای بسیار مهم در طراحی و هیدرولیک سیستم‌های آبیاری است که مدیریت سیستم آبیاری و برنامه‌ریزی بر آن اساس انجام می‌گردد، لذا ارزیابی آن از کارهای ضروری است که بایستی صورت پذیرد. نفوذ نهایی خاک از مشخصات هر خاک بوده و مقدار نفوذی است که خاک در زمان طولانی از خود نشان می‌دهد.

معادلات نفوذ کوستیاکوف، SCS، هورتون، فیلیپ و کوستیاکوف ـ لوئیز از جمله معادلات متداول در آبیاری سطحی می‌باشند که به منظور تعیین نفوذ آب در خاک بکار می‌روند. کلمنز، معادلات مختلفی را به منظور استفاده در آبیاری سطحی مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که نتایج معادلات تجربی بهتر از معادلات فیزیکی با داده‌های صحرایی مطابقت می‌کند و استفاده از معادله کوستیاکوف ـ لوئیز را توصیه نمود (محمودیان شوشتری، 1376). معادله نفوذ کوستیاکوف ـ لوئیز به صورت رابطه (1) می‌باشد (Hartley، 1992).

$$Z = Kt^{\alpha} + f_o t \qquad (1)$$

که در آن:

Z: نفوذ تجمعی (m3/m)

t: فرصت زمان نفوذ (min)

α و K: پارامترهای تجربی

fo: نفوذ نهایی خاک (m3/m/min)

نفوذ آب به خاک با زمان تغییر می‌کند. در ابتدا که آب شروع به نفوذ به خاک می‌نماید، سرعت نفوذ زیاد بوده و به تدریج در زمان طولانی، مقدار آن کاهش پیدا می‌کند تا به یک مقدار تقریباً ثابت برسد. این مقدار ثابت را نفوذ نهایی (Basic Infiltration Rate) می‌گویند. خاک‌ها در انتهای آبیاری (زمان طولانی) سرعت نفوذ ثابتی را از خود نشان می‌دهند که این سرعت در معادله کوستیاکوف ـ لوئیز به صورت fo ملحوظ است. معادله کوستیاکوف ـ لوئیز بهتر از معادلات دیگر نفوذ با وضعیت خاک هماهنگی داشته و عموماً در طراحی سیستم‌های آبیاری از این معادله استفاده می‌شود (Elliott و Walker، 1982).

روش‌های مختلفی برای تعیین نفوذ نهایی خاک (fo) ارائه شده است. یکی از این روش‌ها، استفاده از نتایج آزمایش نفوذ با شیار مسدود (Blocked Furrow) می‌باشد. در این روش از اطلاعات شیار مسدود شده استفاده می‌کنند. پس از اینکه آزمایش نفوذ برای چند ساعت انجام شد، سرعت نفوذ ثابت را می‌توان به عنوان fo در نظر گرفت (Elliott و Walker، 1982؛ Walker و Skogerboe، 1987). روش دیگر استفاده از اطلاعات پیشروی (Wet Advance) است. در این روش پس از مشاهده پسروی در جویچه، مجدداً آب به داخل جویچه هدایت شده و با استفاده از معادلات موازنه حجمی آب و زمان پیشروی نسبت به تعیین نفوذ نهایی خاک اقدام می‌شود. روش سوم تعیین نفوذ نهایی خاک، برآورد این مقدار با استفاده از نوع خاک و جداول ارائه شده در این زمینه می‌باشد. روش چهارم به منظور اندازه‌گیری نفوذ نهایی خاک روش جریان ورودی‌ـخروجی (Inflow-Outflow) می‌باشد. در این روش کل جویچه به عنوان نفوذپذیرسنج مورد استفاده واقع می‌شود. به منظور اندازه‌گیری بایستی دبی ورودی و خروجی (در ابتدا و انتهای جویچه) اندازه‌گیری شوند. مقدار نفوذ نهایی خاک از رابطه (2) بدست می‌آید (Fattah و Upadhyaya، 1996).

$$f_o = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \qquad (2)$$

که در آن:

Qin: دبی ورودی بر حسب m3/min،

Qout: دبی خروجی بر حسب m3/min،

L: طول جویچه به m،

fo: نفوذ نهایی بر حسب m3/m/min

Elliott و Walker (1982) و Raine (1999) اظهار کردند که این روش (ورودی ـ خروجی) مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری نفوذ نهایی خاک در سیستم‌های جویچه‌ای می‌باشد.

عمق نفوذ در هر منطقه تابعی از فرصت نفوذ، محیط خیس شده و خواص نفوذپذیری خاک می‌باشد و تغییرات هر کدام از این فاکتورها موجب تغییرات نفوذ می‌شود (Oyonarte و Mateos، 2002). Elliott و Walker (1982 و 1983) برای ارزیابی پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف ـ لوئیز روش دو نقطه‌ای را پیشنهاد کردند. روش آنها پس از تعیین و اندازه‌گیری نفوذ پایه (توسط روش ورودی ـ خروجی) و با استفاده از اندازه‌گیری‌های سرعت پیشروی برای دو نقطه (نقطه میانی و انتهایی جویچه) و با استفاده از روابط لوئیز میلن (رابطه 3) و کوستیاکوف لوئیز (رابطه 1) می‌باشد. با تلفیق دو رابطه 1 و 3 ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف ـ لوئیز حاصل می‌شود.

$$Q_{in} \cdot t = C \cdot X(t) + \int_0^t Z(t - t_s)\, ds \qquad (3)$$

که در آن:

Qin: دبی ورودی

t: زمان و ts، زمان در نقطه موردنظر

C: متوسط سطح مقطع جریان

Z: حجم نفوذ یافته

s: مسافت تا نقطه مشخص و X، طول پیشروی

Evans و Smith (1990)، میزان نفوذ را با روش نفوذپذیرسنج گردشی برای خاک Red-Brown تعیین نمودند. آنها از معادله کوستیاکوف استفاده کرده و کاهش سی تا پنجاه درصدی نفوذ را در طول فصل زراعی گزارش کردند. آنها کاهش نفوذ را به تغییرات خواص شیمیایی خاک، تغییرات ساختمانی و دیگر تغییرات فیزیکی خاک مرتبط دانستند.

خیس‌شدگی سریع (Rapid Wetting) خاک‌های خشک به علت محبوس شدن هوا، سبب متلاشی شدن خاکدانه‌ها و افزایش فرسایش می‌گردد. خیس شدن سریع در جویچه‌ها یکی از عوامل مهم در تخریب خاکدانه‌ها و کاهش نفوذ می‌باشد (Bjorneberg و Sojka، 2002).

در آبیاری سطحی جریان آب روی سطح خاک یک جریان ناپایدار متغیر مکانی (Unsteady spatially varied flow) است که به سرعت نفوذ آب به خاک که خود با زمان و مکان تغییر می‌نماید، بستگی دارد (Esfandiari و Maheshwari، 1997). سرعت جریان در هر نقطه به علت تغییرات مشخصه‌های نفوذپذیری خاک تغییر می‌کند.

مسئله تغییرات زمانی و مکانی نفوذ باعث گردیده است تا دسترسی به سطوح مناسب یکنواختی آبیاری کمتر شده و اعمال راندمان‌های بالا در شرایط مزرعه میسر نباشد (Austin و Prendergast، 1997). حل مدل‌های شبیه‌سازی شده آبیاری سطحی بستگی به استفاده معادله نفوذ خاصی دارد که از اطلاعات مزرعه‌ای بدست آمده باشد.

دبی جریان و زمان کاربرد دو عامل اصلی در طراحی آبیاری سطحی قلمداد می‌شود. نفوذپذیری در طول فصل تغییر کرده و بایستی این تغییرات در طراحی آبیاری سطحی لحاظ شود. تغییرات نفوذ به فاکتورهای متعددی چون زمان کاربرد، هندسه جویچه، شیب و تغییرات خاک نسبت داده می‌شود (Childs و Wallender، 1993).

Maheshwari و Esfandiari (1998)، معادلات نفوذ را با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی و مدل بیلان حجمی و با کاربرد اطلاعات پیشروی بسط و توسعه دادند. تغییرات زمانی و مکانی نفوذپذیری از عوامل تأثیرگذار بر غیریکنواختی آب و عدم حصول به راندمان‌های بالا در مزرعه می‌باشد. نفوذپذیری در طول فصل تغییر کرده و علت این تغییرات در طول فصل، تغییرات ساختمانی خاک و سله سطحی می‌باشد. استفاده از متوسط تغییرات زمانی نفوذ (به منظور بهینه‌سازی مدیریت‌های آبیاری) می‌تواند سبب افزایش یکنواختی کاربرد آب به اندازه 25 تا 30 درصد شود. همچنین گزارش شده است که تشکیل قشر سله سطحی ناشی از تخریب ساختمان خاک سطحی موجب کاهش 46 درصدی نفوذ در جویچه شده است (Raine و Mcclymont، 1997 و Raine، 1999). Mcclymont و Raine (1996)، تغییرات زمانی نفوذپذیری را در طول فصل زراعی 46 درصد برآورد کردند. مقدار نفوذ در ابتدای فصل 0/24 متر بود که به 0/13 متر در انتهای فصل کاهش یافت. Gates و Clyma (1984)، تأکید کردند که تغییرات زمانی نفوذ در طراحی بایستی منظور گردد. محققان بسیاری تغییرات زمانی نفوذ را گزارش کرده‌اند و اظهار داشته‌اند این تغییرات در طول فصل معنی‌دار بوده است (Zapata و Playan، 2000).

معمولاً در آبیاری سطحی، تابع نفوذ در طول فصل و در کل مزرعه ثابت فرض می‌شود، در حالیکه این تابع با زمان و مکان تغییر می‌کند (Medina و Martin، 1998). در مطالعات مختلف عوامل سله سطحی و تغییرات سطحی خاک، فاکتور مهم و تأثیرگذار بر نفوذ و تغییرات آن ذکر شده است (Raghuwanshi و Wallender، 1999؛ Trout و Mackey، 1988؛ Wallender، 1986).

شایان ذکر است که با توجه به بررسی منابع انجام شده، غالب مطالعات و تحقیقات مربوط به نفوذ و نفوذپذیری در شرایط آزمایشگاهی و خاک دست‌خورده و یا به صورت نقطه‌ای و توسط استوانه‌های مضاعف و در شرایط بدون گیاه انجام پذیرفته است. این پژوهش تغییرات نفوذ را در مزرعه و در حضور گیاه مورد بررسی قرار می‌دهد که میانگین‌های نفوذ بدست آمده در این پژوهش نسبت به روش‌های نقطه‌ای از اعتبار بیشتری برخوردار هستند.

مواد و روش‌ها

به منظور اندازه‌گیری و تعیین تغییرات زمانی نفوذ و بررسی تغییرات راندمان کاربرد، آزمایشی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. این آزمایش در مزرعه دانشکده کشاورزی کرج واقع در 35 درجه و 56 دقیقه عرض شمالی و 50 درجه و 58 دقیقه طول شرقی انجام شد. این منطقه از نظر آب و هوایی جزو آب و هوای مدیترانه‌ای گرم و خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد محسوب می‌شود. ارتفاع منطقه از سطح دریا 1312/5 متر و میزان بارندگی متوسط سالیانه حدود 271 میلی‌متر و معدل حداکثر درجه حرارت در تیر ماه معادل 35 و معدل حداقل درجه حرارت در دی ماه 4 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این منطقه بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن جزو اقلیم خشک به حساب می‌آید.

در ابتدا خاک مورد تجزیه واقع شد و خواص فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید. برخی مشخصات

شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه در جدول 1 ارائه گردیده است.

بطوری که از جدول 1 ملاحظه می‌گردد، خاک منطقه آزمایش لوم رسی، بدون محدودیت شوری، با قلیاییت کم و از نظر حاصلخیزی ضعیف می‌باشد. ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک موردنظر به ترتیب 22/3 و 9/2 درصد وزنی در مکش‌های به ترتیب برابر 0/3 و 15 اتمسفر و در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند.

آب آبیاری مورد مصرف از چاه مزرعه دانشکده کشاورزی تأمین شده و خصوصیات شیمیایی آن در جدول 2 ارائه شده است. درجه سدیمی بودن این آب کم می‌باشد و می‌توان از این آب برای آبیاری اغلب اراضی و گیاهان استفاده نمود و جزو آب‌های خوب محسوب می‌شود.

مقدار نفوذ نهایی خاک با اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی (رابطه 2) برای تمامی آبیاری‌ها و به صورت جداگانه اندازه‌گیری و تغییرات آن با دفعات آبیاری بررسی گردید. دبی ورودی به صورت حجمی و دبی خروجی توسط فلوم WSC تیپ 2 اندازه‌گیری شد که منحنی دبی ـ ارتفاع فلوم مربوطه در شکل 1 ارائه شده است.

به منظور تعیین تغییرات نفوذ تجمعی با استفاده از معادلات بیلان حجمی، مقادیر دبی ورودی و خروجی و اطلاعات پیشروی در هر آبیاری اندازه‌گیری گردید. نفوذ تجمعی با استفاده از معادلات بیلان حجمی و معادله نفوذ کوستیاکوف ـ لوئیز به روش دو نقطه‌ای تعیین شد. تعداد جویچه‌ها 9 عدد (3 بلوک) و اندازه‌گیری نفوذ نهایی در جویچه وسطی صورت پذیرفت. فاصله جویچه‌ها 0/75 متر و جویچه‌ها دارای شیب 0/01 درصد بودند و دو جویچه به صورت بافر در نظر گرفته شد.

با توجه به تجزیه شیمیایی خاک در ابتدای دوره، توصیه‌های کودی طبق نظر کارشناسان مؤسسه تحقیقات خاک و آب صورت پذیرفت. کود فسفر (سوپرفسفات تریپل) و پتاس (سولفات پتاسیم) به مقدار به ترتیب 100 و 150 کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه گردید و کود اوره به مقدار 350 کیلوگرم در هکتار و بطور تقسیط در اختیار خاک قرار گرفت.

بذر ذرت از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و احداث جویچه‌ها، بذر ذرت علوفه‌ای در عمق 5 سانتی‌متری و به فواصل 15 تا 20 سانتی‌متری کاشته شد. تعداد دوازده نوبت آبیاری در طول فصل انجام شد. زمان آبیاری بر مبنای رطوبت خاک قبل از آبیاری تعیین گردید. زمان آبیاری بر اساس تخلیه 50% آب قابل استفاده (نقاط FC و PWP اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه) تعیین و به عبارت دیگر آبیاری زمانی انجام شد که مقدار 50% آب قابل استفاده مصرف شده باشد. مقدار رطوبت خاک توسط نوترون‌متر (DIDCOT ،I.H3 ،1.85-GBq.AmBe) اندازه‌گیری و عمق آب آبیاری بر اساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی مزرعه محاسبه و اعمال گردید. اندازه‌گیری رطوبت در دو عمق (30-0) و (60-30) سانتی‌متری انجام شد.

نتایج و بحث

میانگین نفوذ نهایی خاک در ابتدای دوره برابر 14/5×10-5 مترمکعب بر متر بر دقیقه اندازه‌گیری شد که این مقدار در انتهای دوره به 9/57×10-5 مترمکعب بر متر بر دقیقه کاهش یافت (34 درصد کاهش). تغییرات نفوذ نهایی خاک با دفعات آبیاری در تمام آبیاری‌ها مورد تجزیه و تحلیل آماری واقع شد. نتایج آزمون t استیودنت تغییرات نفوذ نهایی خاک در جدول 3 ارائه شده است.

با توجه به جدول 3، ملاحظه می‌گردد که تغییرات نفوذ نهایی خاک نسبت به ابتدای دوره در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. به عبارت دیگر مقدار نفوذ نهایی خاک در طول فصل زراعی از روند کاهشی برخوردار بوده است. همچنین روند تغییرات نفوذ تجمعی در ابتدا و انتهای فصل نیز با استفاده از معادله کوستیاکوف ـ لوئیز تعیین گردید. شکل 2 تغییرات نفوذ تجمعی خاک را در انتها و ابتدای دوره با زمان ارائه می‌کند.

همانطوری که از شکل 2 ملاحظه می‌گردد، نفوذ تجمعی محاسبه شده در انتهای فصل نسبت به ابتدای دوره کاهش یافته است. کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره به اندازه 13 درصد و افزایش جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده در انتهای دوره (1/44 گرم بر سانتی‌متر مکعب) نسبت به ابتدای دوره (1/38 گرم بر سانتی‌متر مکعب) در این پژوهش بیانگر تخریب لایه سطحی خاک و تغییرات خواص فیزیکی خاک در نتیجه تماس و برخورد آب با خاک بوده است.

به منظور تعیین چگونگی تغییرات نفوذ تجمعی در ابتدا و انتهای دوره با زمان، از آزمون نمونه‌های جفتی (paired sample statistics) استفاده و اطلاعات جمع‌آوری شده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج در جداول 4 و 5 ارائه شده است.

همانگونه که از جدول 5 ملاحظه می‌گردد، تغییرات نفوذ تجمعی در ابتدا و انتهای دوره در سطح یک درصد معنی‌دار شده است که حاکی از کاهش نفوذ تجمعی در انتهای فصل نسبت به ابتدای فصل است. به منظور

تعیین چگونگی تغییرات نفوذ تجمعی با دفعات آبیاری در طول دوره، مقادیر نفوذ تجمعی حاصل شده در طول فصل با مقدار اولیه آن مورد تجزیه و تحلیل آماری (آزمون t استیودنت) واقع شد و نتایج در جدول 6 ارائه شده است.

تغییرات نفوذ تجمعی تیمارها نسبت به ابتدای دوره در سطح یک درصد معنی‌دار شده است (جدول 6). مدل‌های مختلفی به منظور تعیین بهترین برازش رگرسیونی بین مقادیر نفوذ تجمعی و دفعات آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت که بهترین مدل رگرسیونی با بیشترین ضریب همبستگی، مدل لگاریتمی حاصل شد ($\ln (Ie)+0/0342$ $Z=-0/0038$). شکل 3، تغییرات نفوذ تجمعی خاک را با دفعات آبیاری به همراه روابط رگرسیونی مربوطه نشان می‌دهد.

روند تغییرات نفوذ تجمعی تیمارها از یک الگوی لگاریتمی (کاهشی) در طول فصل تبعیت کرده است. همچنین نتایج اندازه‌گیری‌های نفوذ نهایی خاک (fo) نشان داد که روند تغییرات نفوذ نهایی نیز به صورت کاهشی بوده است. مقدار نفوذ نهایی خاک در انتهای دوره به میزان 34 درصد نسبت به ابتدای دوره کاهش یافت که نهایتاً موجب کاهش نفوذ تجمعی گردید. معمولاً کاهش در مقدار نفوذپذیری در یک فصل زراعی اتفاق می‌افتد که این مدلول برخورد آب با خاکدانه‌ها، سله سطحی و تخریب ساختمان سطحی خاک است.

در این راستا، راندمان کاربرد در ابتدا و انتهای دوره مورد مقایسه قرار گرفت. راندمان کاربرد آب در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره به میزان 10 درصد کاهش داشت که بیانگر کاهش عمق نفوذ آب به داخل خاک در انتهای دوره نسبت به ابتدای فصل است. در ابتدای فصل و در مدت زمان 200 دقیقه، عمق آب نفوذ کرده به خاک 5 سانتی‌متر بود که در انتهای فصل و در همین زمان به 3/5 سانتی‌متر کاهش یافت. با توجه به کاهش راندمان کاربرد آب در انتهای فصل، به منظور نفوذ عمق مشخص آب در خاک، بایستی زمان آبیاری در انتهای فصل افزایش یابد. به عبارت دیگر به منظور رساندن آب مورد نیاز به محیط ریشه در انتهای دوره و مدیریت مناسب آبیاری، بایستی زمان آبیاری در انتهای دوره نسبت به ابتدای فصل افزایش یابد. به منظور افزایش راندمان کاربرد آب در آبیاری سطحی، بایستی تغییرات نفوذ در طول فصل در نظر گرفته شده تا با توجه به تغییرات نفوذ، زمان مناسب و مورد نیاز آبیاری برای در اختیار قرار دادن آب کافی در منطقه ریشه گیاه برآورد شود.

وقتی در طول دوره رشد مشخص گردید که نفوذ از یک روند کاهشی برخوردار است، بایستی دید که این روند چه تأثیری در مدیریت آب در مزرعه خواهد داشت و چه اصلاحاتی می‌توان در این ارتباط انجام داد. یکی از راهکارهای آن افزایش زمان آبیاری می‌باشد. از راهکارهای مدیریتی دیگر می‌توان به کوتاه کردن فواصل آبیاری‌ها و استفاده مؤثر و بهینه از خروجی (رواناب) اشاره نمود. چون نفوذ در طول فصل از یک الگوی کاهشی پیروی کرده، لذا حجم رواناب تولید شده در انتهای فصل بیشتر از ابتدای فصل خواهد گردید که با برگرداندن این رواناب و استفاده مجدد از آن می‌توان کاهش حجم آب نفوذ کرده را از طریق افزایش زمان آبیاری جبران نمود.

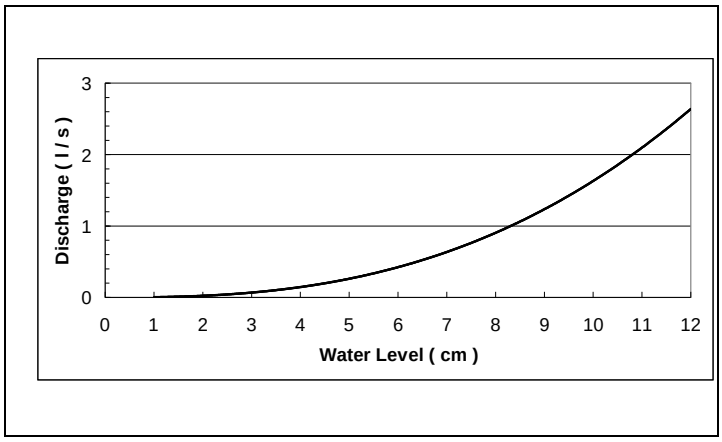
جدول 1ـ برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از آزمایش

عمق (cm)	EC (dS/m)	pH	CEC (meq/100g Soil)	فسفر	پتاسیم	رس	سیلت	شن
				mg/kg		%		
0-30	0/56	7/9	13/0	8/2	204	25/4	45/4	29/2
30-60	0/95	7/9	13/4	3/6	128	27/4	47/4	25/2

عمق (cm)	کاتیون‌ها meq/l			آنیون‌ها meq/l		SAR
	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	$SO_4^=$	HCO_3^-	Cl^-	
0-30	1/7	3/2	3/6	0/7	2/8	5/0	0/92
30-60	2/8	5/2	6/4	8/0	2/4	4/0	1/16

جدول 2ـ مشخصات شیمیایی آب آبیاری

کاتیونها (meq/l)			آنیونها (meq/l)			EC (dS/m)	SAR	pH
Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	$SO_4^{=}$			
3/2	2/4	1/5	1/60	2/0	3/5	0/62	0/90	7/95



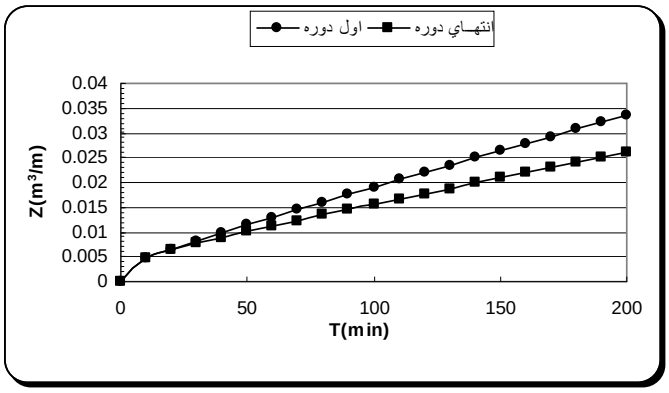
شکل 1ـ منحنی دبی ـ ارتفاع فلوم WSC

جدول 3ـ تغییرات زمانی نفوذ نهایی خاک با دفعات آبیاری با استفاده از آزمون t استیودنت

T.V. = 0/000145 $m^3/m/min$

تغییرات نفوذ نهایی	t	درجه آزادی	معنی‌داری	میانگین تفاوت‌ها	فواصل اطمینان 95 درصد	
					حد پایینی	حد بالایی
	-12/312	35	$0/0^{**}$	$-3/583\times10^{-5}$	$-4/174\times10^{-5}$	$-2/992\times10^{-5}$

**: معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل 2ـ روند تغییرات نفوذ تجمعی محاسبه شده خاک در ابتدا و انتهای دوره با زمان

جدول 4ـ نتایج نمونه‌های جفتی نفوذ تجمعی خاک

	میانگین	تعداد	انحراف معیار	میانگین خطای استاندارد
ابتدای فصل	$1/867\times10^{-2}$	21	$9/672\times10^{-3}$	$2/111\times10^{-3}$
انتهای فصل	$1/518\times10^{-2}$	21	$7/218\times10^{-3}$	$1/575\times10^{-3}$

جدول 5- آزمون آماری نمونه‌های جفتی نفوذ تجمعی خاک ابتدا و انتهای دوره

	تفاوت جفت‌ها					t	درجه آزادی	معنی‌داری جفت‌ها
	میانگین	انحراف معیار	میانگین خطای استاندارد	تفاوت‌ها در سطح احتمال 99 درصد				
				حد پایینی	حد بالایی			
نفوذ تجمعی	$3/492\times10^{-3}$	$2/484\times10^{-3}$	$5/420\times10^{-4}$	$1/950\times10^{-3}$	$5/035\times10^{-3}$	6/444	20	0/0**

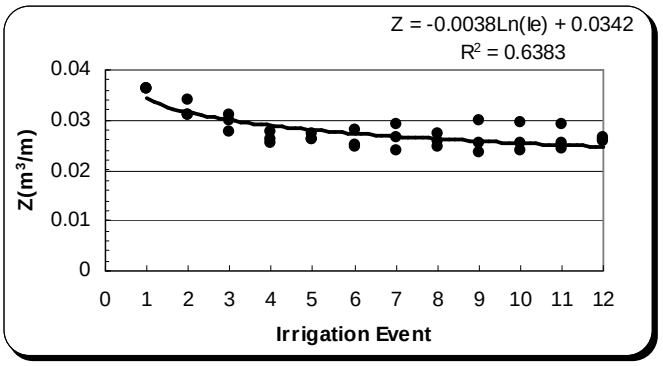
**: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول 6- تغییرات زمانی نفوذ تجمعی با دفعات آبیاری با استفاده از آزمون t استیودنت

T.V. = ۰/۰۳۶۲ M^3/m

تغییرات نفوذ تجمعی	t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	میانگین تفاوت‌ها	فواصل اطمینان 95 درصد	
					حد پایینی	حد بالایی
	-14/250	35	0/0**	$-8/35\times10^{-3}$	$-9/5\times10^{-3}$	$-7/2\times10^{-3}$

**: معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل 3ـ روند تغییرات نفوذ تجمعی تیمارها با دفعات آبیاری

فهرست منابع:

1. بای‌بوردی، محمد. 1372. فیزیک خاک. انتشارات دانشگاه تهران. 671 ص.
2. محمودیان شوشتری، محمد. 1376. پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف ـ لوئیز معادل با پارامترهای معادل نفوذ SCS، مجله خاک و آب ، جلد 11، شماره 1.
3. Austin, N and J. B. prendergast. 1997. Use of kinematic wave theory to model irrigation on craking soil. Irrigation Science. 18(1): 1-10.
4. Bjorneberg, R and E. Sojka. 2002. Pre-wetting effect on furrow irrigation erosion. Transations of the ASAE. 45(3): 717-722.
5. Childs. L and W. Wallender. 1993. Spatial and seasonal variation of furrow infiltration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 119(1): 74-90.
6. Elliott, R and W. R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transaction of the ASAE. 25(2): 396-400.
7. Elliott, R and W. R. Walker. 1983. Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. Transactions of the ASAE. 26(6): 1726-1731.
8. Esfandiari, M and B. L. Maheshwari. 1997. Field values for estimating surface storage on clay soil. Irrigation Science. 17: 159-161.

9. Evans, R. G and C. J. Smith. 1990. Saline water application effects of red-brown earths. Transactions of the ASAE. 33(5): 1563-1572.
10. Fattah. H. and S. K. Upadhyaya. 1996. Effect of soil crust and soil compaction on infiltration in yolo loam soil. Transactions of the ASAE. 39(1): 79-84.
11. Gates, K and W. Clyma. 1984. Designing furrow irrigation systems for improved seasonal Performance. Transaction of the ASAE. 27(6): 1817-1824
12. Hartley, D. M. 1992. Interpretation of Kostiakov infiltration parameters for borders. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 118(1):156-165.
13. Maheshwari, B and M. Esfandiari. 1998. Volume balance irrigation advance equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 124(6): 322-329.
14. Martinez, J. 1999. Irrigation with Saline water :benefits and environmental impact. Agricultural Water Management. 40: 183-194.
15. Mcclymont, D. and R. Raine. 1996. The predication of furrow irrigation performance using the surface irrigation model Sirmod. Australian Solutions. Adelaide Convention and Exhibition centre South Australia. 14-16 May 1996: 1-10.
16. Medina, J. and D. Martin. 1998. Infiltration model for furrow irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 124(2): 73-80.
17. Oyonarte, N. and L. Mateos. 2002. Infiltration variability in furrow irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 128(1): 26-33.
18. Raghuwanshi, N, and W. Wallender. 1999. Forecasting and optimizing furrow irrigation management decision variables. Irrigation Science. 19: 1-6.
19. Raine, R. 1999. Research, development and extension in irrigation. National Centre for Engineering in Agriculture. NCEA Publication, 179743/2: 1-12.
20. Raine, R. and J. Mcclymont. 1997. The development of guidelines for surface irrigation in areas with variable infiltration. Proceeding of Australian Society of Sugarcane Technologists: 293-301.
21. Trout, T and E. Mackey. 1988. Furrow inflow and infiltration variability. Transactions of the ASAE. 31(2): 531-537.
22. Walker, W and V. Skogerboe, 1987. Surface irrigation theory and practice. Prentice Hall, NJ: 386 p.
23. Wallender, W. 1986. Furrow model with spatially varying infiltration. Transactions of the ASAE. 29(4): 1012-1016.
24. Zapata, N and E. Playan. 2000. Elevation and infiltration in a level basin. Irrigation Science. 19(4): 155-164.